Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland

(Ein Beitrag zum Problem der Witterungsabhängigkeit des Vogelzugs)

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

ERLANGUNG DER WÜRDE EINES DOKTORS DER PHILOSOPHIE

vorgelegt der

PHILOSOPHISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT BASEL

von

BRUNO BRUDERER
aus Wald AR

BERN
Fritz Marti AG, Buchdruck und Offset, 3072 Ostermundigen-Bern
1971

Genehmigt von der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät auf Antrag der Herren Professoren Dr. A. PORTMANN und Dr. W. STINGELIN.

Basel, den 9. März 1971

Prof. Dr. H. P. LAUBSCHER, Dekan

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Separatdruck aus «Der Ornithologische Beobachter», Bd. 68, Heft 3, 1971

Radarbeobachtungen über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland[1]

(Ein Beitrag zum Problem der Witterungsabhängigkeit des Vogelzugs)

von BRUNO BRUDERER

Zoologische Anstalt der Universität Basel

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung
   1.1 Die Entwicklung der Radar-Ornithologie in der Schweiz
   1.2 Allgemeines zum Nachtzug über dem Schweizerischen Mittelland
   1.3 Grundlagen und Problemstellung der vorliegenden Arbeit
2. Methodik
   2.1 Zur Wahl eines Feuerleitradars als Beobachtungsinstrument
   2.2 Radaranlage und Stellungsort
   2.3 Qualitative Methoden
      2.3.1 Windmessungen
      2.3.2 Flugwegbestimmungen
      2.3.3 Analyse von Echosignaturen
   2.4 Quantitative Methoden
      2.4.1 Die «vertical beam»-Methode
      2.4.2 Ergänzung der «vertical beam»-Methode
      2.4.3 Berechnung der Zugfrequenz
         2.4.3.1 Eliminierung von Störechos
         2.4.3.2 Reichweite des Gerätes für Vögel von bekanntem Streuquerschnitt
         2.4.3.3 Das Strahlungsdiagramm
      2.4.4 Berechnung der Zugdichte
   2.5 Zeitplan der Beobachtungen
   2.6 Beurteilung und Verwendung des Materials
      2.6.1 Qualitatives Material
      2.6.2 Quantitatives Material
   2.7 Meteorologische Daten

[1] Die Forschungsarbeiten wurden bis zum Jahre 1969 von der *Stiftung Dr. Fritz Hoffmann-La Roche zur Förderung wissenschaftlicher Arbeitsgemeinschaften in der Schweiz* unterstützt. Die Fortsetzung der Studien erfolgte im Rahmen eines Kredites des *Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung* an die Vogelwarte Sempach.

3. Ergebnisse der qualitativen Untersuchungen
3.1 Gruppierung von Tag- und Nachtziehern
3.1.1 Anteile von Schwärmen und Einzelvögeln am Tag- und Nachtzug
3.1.2 Räumliche Verteilung der im Nachtzug festgestellten «Einzelvögel»
3.1.3 Diskussion
3.2 Probleme der Fluggeschwindigkeit
3.2.1 Unterschiede zwischen den Fluggeschwindigkeiten in verschiedenen Höhenbereichen
3.2.2 Beeinflussung von Zuggeschwindigkeit und Eigengeschwindigkeit durch den Wind
3.2.3 Diskussion
3.3 Charakterisierung von «Echoarten» anhand der vom Gerät gelieferten Informationen
3.3.1 Flügelschlagfrequenz
3.3.2 Schlagphasen und Ruhephasen innerhalb des Flügelschlagmusters
3.3.3 Streuquerschnitt
3.3.4 Artgeschwindigkeit
3.3.5 Zusammensetzung des Nachtzuges
3.3.6 Diskussion
4. Ergebnisse der quantitativen Untersuchungen
4.1 Zur Flughöhe ziehender Vögel
4.1.1 Höhenmessungen mit Radar
4.1.2 Darstellung von Höhenverteilung und Zugintensität
4.1.3 Durchschnittliche Höhenverteilung im Tag- und Nachtzug
4.1.4 Zeitliche Variation von Höhenverteilung und Zugintensität während der Nacht
4.1.5 Beziehung zwischen Zughöhe und Zugintensität
4.1.6 Die Optimalflughöhe
4.1.7 Beeinflussung der Zughöhe durch Umweltfaktoren
4.1.7.1 Die Zughöhe und ihre Beziehung zu Luftdruckveränderungen und Witterungsablauf
4.1.7.2 Zughöhe und 0°-Isotherme
4.1.7.3 Wirkung von Bewölkung und Niederschlägen
4.1.7.4 Einfluss von Stärke und Richtung des Windes auf die Zughöhe
4.1.8 Diskussion
4.2 Zugintensität und Witterungsablauf
4.2.1 Beobachtungen
4.2.2 Diskussion
5. Schlussbemerkung
6. Dank
7. Zusammenfassungen
8. Literatur
9. Annexe
I : Erklärung von Abkürzungen und Fachausdrücken
II : Berechnung der wirksamen Strahlbreite
III: Ausscheidung von Insektenechos im Frühling 1968
IV: Berechnung der Zugdichte für die Beobachtungsperiode 1968
V : Die wichtigsten mathematischen Beziehungen zwischen Vogelflug und Wind

1. Einleitung

1.1 *Die Entwicklung der Radar-Ornithologie in der Schweiz*

Die Anfänge der Radar-Ornithologie in der Schweiz gehen auf die Jahre 1953 und 1954 zurück, in denen Einzelbeobachtungen am Klotener Überwachungsradar zeigten, dass Vögel auf dem Radarschirm sichtbare Echos ergaben. E. WEITNAUER setzte mit seinen prächtigen Studien über die Nachtflüge der Mauersegler (1956) die Radarmethode erstmals für die Bearbeitung einer konkreten ornithologischen Frage ein. Seit dem Jahre 1956 besteht in der Schweiz eine Arbeitsgemeinschaft für Radar-Vogelzugstudien unter dem Patronat von Prof. Dr. A. PORTMANN (Zoologische Anstalt der Universität Basel) und der technischen Leitung von Dr. E. SUTTER (Naturhistorisches Museum Basel). In Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Vogelwarte Sempach, der Flugwetterzentrale Kloten und dem Flugsicherungsdienst von Radio Schweiz AG in Kloten wurde am 10-cm-Überwachungsradar «Cossor» bis zum Jahre 1963 Beobachtungsmaterial gesammelt.

Nachdem SUTTER (1957a) die Radaranlage und die Beobachtungsmethoden beschrieben und in zwei Mitteilungen (1957b und 1961) über den Nachtzug berichtet hatte, wurde das vorhandene Material im Zoologischen Institut der Universität Zürich einer detaillierten Analyse unterzogen: GEHRING (1963) bearbeitete das Tagzugmaterial, STEIDINGER (1968) untersuchte die Richtungsprobleme des Nachtzuges.

Eine auf Feldbeobachtungen beruhende Arbeitshypothese über die Witterungsabhängigkeit des Herbstzuges (BRUDERER 1967) gab den Anstoss zu einer neuen Beobachtungsserie im Herbst 1967. Es zeigte sich dabei, dass die intensivsten Phasen des bodennahen Zuges (im Rückseitenbereich von Zyklonen) auf dem Bildschirm des Überwachungsradars meist nur schwach in Erscheinung treten (vgl. S. 94). Weitere Untersuchungen zum Problem der Witterungsabhängigkeit erforderten deshalb ein neues Beobachtungsinstrument, das es erlaubte, alle Höhenbereiche mit vergleichbarer Genauigkeit zu überwachen. Nach den positiven Ergebnissen der von GEHRING (1967a und b) durchgeführten Vorversuche wurde deshalb im Frühling 1968 ein moderner Zielverfolgungsradar als Beobachtungsgerät eingesetzt. Die erste Arbeitsperiode galt primär der Entwicklung der Beobachtungsmethoden (vgl. BRUDERER 1969); dennoch konnte bereits eine erste Serie von quantitativen Daten über den Zugverlauf gesammelt werden. Methoden zur Analyse von automatisch verfolgten Einzelobjekten bezüglich Flugweg und Echosignatur wurden im Frühling aufgebaut, gelangten aber erst in den Monaten September und Oktober 1968 zum Dauereinsatz. Im Frühjahr 1969 wurde zusätzlich zu den bisherigen Methoden die Bestimmung absoluter Rückstreuquerschnitte eingeführt (vgl. BRUDERER und JOSS 1969).

Im Zusammenhang mit den neuen Methoden und Problemstellungen erweiterte sich die Arbeitsgemeinschaft um das Osservatorio Ticinese der MZA und die Meteorologische Anstalt der Universität Basel. P. STEIDINGER vom Zoologischen Institut der Universität Zürich ist seit dem Herbst 1968 aktiv an Feldarbeit und Auswertung beteiligt. Grundvoraussetzung für unsere Arbeit am Zielverfolgungsradar waren die tatkräftige Unterstützung durch die Firma Contraves AG und die Hilfe verschiedener militärischer Stellen, insbesondere der Abt f Fl u Flab.

Nach dem vorläufigen Abschluss der Feldarbeiten im Frühling 1969 wurde das vorhandene Material durch P. STEIDINGER in Zürich im Hinblick auf Probleme der Zugrichtung und der Orientierung untersucht, während in Basel die Echosignaturen sowie die möglichen Beziehungen zwischen Witterung, Flughöhe und Zugintensität studiert wurden.

1.2 *Allgemeines zum Nachtzug über dem Schweizerischen Mittelland*

Herbstzug: Nach den Untersuchungen von SUTTER (1957b und 1961) und STEIDINGER (1968) am Überwachungsradar in Kloten lässt sich das Erscheinungsbild des nächtlichen Herbstzuges in unserem Beobachtungsgebiet wie folgt umreissen: Das Radarbild zeigt im späten September und im Oktober normalerweise einen gleichmässigen, nach SW gerichteten Strom von kleinen unsteten Echos, typisch für den Breitfrontzug von Singvögeln. Bei ungestörter Wetterlage beträgt die dominierende Zugrichtung um Mitternacht im Mittel 243°. Bewegungen nach S, SE oder E sind in der Regel unbedeutend, ausgenommen bei starken Winden aus N, NW oder W. Im Verlaufe der Nacht ist ein Drehen der Hauptzugrichtung (im Mittel um $\sim$ 20°) von anfänglich SW gegen WSW feststellbar. Die Streuung der Zugrichtungen ist in der Nacht grösser als am Tag, am Anfang der Nacht oft grösser als gegen Ende der Nacht und unter einer Hochnebeldecke grösser als darüber (Sektorgrösse unter günstigen Bedingungen 15—45°). Extrem vergrösserte Streusektoren können bei Regen beobachtet werden. Bei starkem Gegenwind werden keine Echos von hoch fliegenden Vögeln festgestellt. Grösste Echodichten werden bei schönem Wetter mit unbedeutenden oder nordöstlichen Winden gemessen, wobei jedoch GEHRING (1963) aufgrund von parallelen Feldbeobachtungen im Tagzug annimmt, dass kleine Passeres bei veränderlichem Westwindwetter mit mässigem bis starkem Gegenwind eine fast ebenso hohe Zugdichte erreichen wie bei ungestörtem Wetter mit leichten Winden, dass diese Zugbewegung jedoch vom Überwachungsradar nur schlecht erfasst wird. STEIDINGERs Angaben (1968) lassen vermuten, dass die geringe Echodichte bei Gegenwind nicht nur durch das Unterfliegen des Radarbereiches, sondern auch durch die Ausscheidung langsam fliegender Ziele durch die MTI-Vorrichtung zustande kommen kann.

Frühlingszug: Der Frühlingszug wurde bis dahin in der Schweiz wenig beachtet, da er eher unauffällig und in wesentlich geringerer Dichte erfolgt als der Herbstzug. Beobachtungen am Klotener Radar (SUTTER, BRUDERER unpubl.) haben gezeigt, dass er im März und anfangs April bezüglich Grösse, Form und Verteilung der Echos dem Herbstzug entspricht. Die Zugachsen sind im Prinzip dieselben wie im Herbst, mit umgekehrter Bewegungsrichtung der Vögel. Die maximale Zugdichte erreicht, wenn wir die sechsstufige Dichteskala von STEIDINGER (1968) übernehmen, im Extremfall die Stufe 5, in der Regel jedoch nur die Stufe 4.

Die Zusammensetzung des vorwiegend auf Passeres beschränkten Zuges lässt, wie aus vergleichbaren Beobachtungsperioden im Herbst hervorgeht (vgl. etwa DORKA 1966), stets ein heterogenes Artengemisch erwarten, in dem ausgeprägte Zugvögel (Langstreckenzieher, Insektenfresser) aus den Gruppen der Sylviinae, Turdinae und Muscicapinae, je nach ihrer Häufigkeit in den nordöstlich, nördlich und z. T. auch nordwestlich gelegenen Brutgebieten, eine dominierende Rolle spielen dürften. Auch einzelne Arten aus Gattungen mit weniger

ausgeprägtem Nachtzug (*Turdus*, *Sturnus*, *Emberiza*) sind infolge ihrer Häufigkeit auch im Nachtzug stark vertreten (DORKA 1966).

1.3 *Grundlagen und Problemstellung der vorliegenden Arbeit*

Die dürftigen Kenntnisse über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland liessen es als wünschenswert erscheinen, dieser Zugphase in der zeitlichen Folge der Bearbeitung den Vorzug zu geben. So untersucht STEIDINGER (in Vorbereitung) in einer parallelen Studie Probleme der Zugrichtungen im Fühlingszug.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die methodischen Voraussetzungen für quantitative Vogelzugstudien mit einem Zielverfolgungsradar zu erarbeiten, die ersten mit diesen Methoden gesammelten Daten aus dem Frühlingszug im Hinblick auf biometeorologische Zusammenhänge auszuwerten und eine solide Ausgangsbasis für kommende Untersuchungen über die Abhängigkeit des Vogelzuges von Witterungseinflüssen zu schaffen.

Da sich in diesem Rahmen mehr und mehr auch qualitative Informationen über den Zugverlauf (Gruppierung, Fluggeschwindigkeit, Zusammensetzung) als unerlässlich erwiesen, werden im methodischen Teil auch dazu die notwendigsten Hinweise gegeben und im Teil 3 die wichtigsten Resultate dargestellt.

Als Arbeitsgrundlage dient das bezüglich Flugwegregistrierungen und Echosignaturen gut dokumentierte Material aus der Beobachtungsperiode von 3. bis 25. April 1969. Es umfasst 42 Höhenwindmessungen, über 1500 Flugwegberechnungen und Echosignaturen von automatisch verfolgten Einzelobjekten und rund 6500 Echos, die für Zugdichtebestimmungen verwendet werden. Als Ergänzung dienen die vorwiegend quantitativen Daten aus der Zeit vom 19. März bis 10. April 1968 (22 Höhenwindmessungen; über 5000 quantitativ bewertete Echos) sowie Beobachtungen vom Überwachungsradar in Kloten.

2. Methodik

2.1 *Zur Wahl eines Feuerleitradars als Beobachtungsinstrument*

Der für Vogelzugstudien meistverwendete Radartyp ist der *Überwachungsradar*. Er bietet den Vorteil eines grossen Beobachtungsfeldes und, damit verbunden, die Möglichkeit zum Studium der Flugrichtungen und Zuggeschwindigkeiten einer riesigen Echozahl über grosse Strecken. Der Hauptnachteil ist das Fehlen genauer Höheninformationen. Zwei weitere Nachteile, die unterschiedliche Empfindlichkeit der Anlage für verschiedene Höhenbereiche wie auch die Ausscheidung langsam fliegender Echos können, nach theoretischen Erwägungen von EASTWOOD (1967) und EASTWOOD und RIDER (1965), durch günstigen Standort, grosse Senderleistung und optimale Abstimmung der MTI-Vorrichtung auf ein tragbares Mass reduziert werden; sie scheinen sich aber im Falle des Klotener 10-cm-Radars unter Umständen erheblich auszuwirken.

Abb. 1 zeigt in schematisierter Form das vertikale Strahlungsdiagramm des «Cossor Airfield Control Radar Mark VI» in Kloten für Streuquerschnitte von 10 bzw. 50 cm^2 (diese Streuquerschnitte entsprechen einem einzelnen Kleinvogel bzw. einer Gruppe von ca. 5 Kleinvögeln). Dieses Diagramm zeigt unter anderem, dass ein einzelner Kleinvogel bei einer Entfernung von fünf Seemeilen nur in einem Höhenbereich zwischen 200 und 900 m auf dem Radarschirm in Erscheinung tritt, und dass er bereits bei einer Distanz von sieben Meilen ausser-

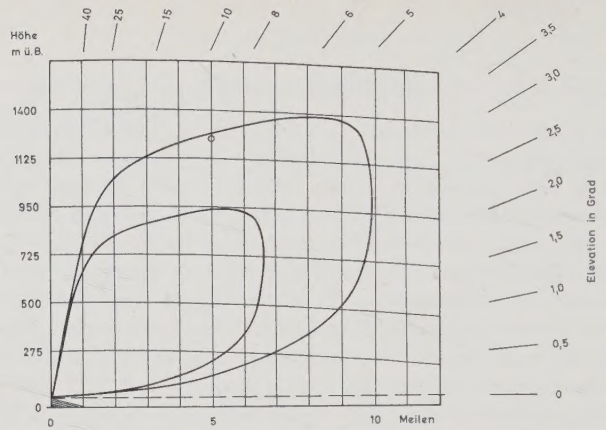


ABB. 1. Vertikales Strahlungsdiagramm des Klotener 10-cm-Überwachungsradars für Streuquerschnitte von 10 cm² und 50 cm², entsprechend den Querschnitten eines Kleinvogels bzw. einer Gruppe von ca. 5 Kleinvögeln. Der kleine Kreis auf der Distanzmarke 5 Meilen, in einer Höhe von 1200 m über Boden (m ü. B.), bezeichnet den Ort, an dem WEITNAUER (1960) zwei Mauersegler als knapp sichtbares Echo auf dem Radarschirm registrierte (vgl. Text).

halb der Reichweite des Gerätes fliegt. Da die Antenne 50 m über der Flugplatzebene steht und ein Umkreis von zwei Meilen Radius um die Anlage kein brauchbares Radarbild ergibt, können Vögel mit Flughöhen unterhalb ca. 100 m überhaupt nicht erfasst werden. Eine Veränderung der Zughöhe kann eine Veränderung der Zugdichte vortäuschen, wobei der auftretende Fehler im Tagzug dank der Schwarmbildung und entsprechend grösseren Streuquerschnitten etwas geringer ist als im Nachtzug.

Gleichsam zur Illustration und als lebendige Bestätigung der theoretischen Strahlungsdiagramme sei ein Versuch angeführt, den WEITNAUER (1960) mit zwei Mauerseglern durchführte: Von zwei Mauerseglern *Apus apus* mit Streuquerschnitten in der Grössenordnung von je 15 cm² ist ein stark fluktuierendes Echo zu erwarten; ihr Gesamtstreuquerschnitt kann durch Interferenz einerseits praktisch auf Null absinken, andererseits auf den vierfachen Betrag des Einzelstreuquerschnittes ansteigen und damit die Grössenordnung von 50 cm² erreichen. In der Tat konnte WEITNAUER die beiden Segler, die in fünf Meilen Distanz und 1200 m Höhe freigelassen wurden, als kleinen unsteten Lichtpunkt auf dem Radarschirm erkennen.

Das Problem der langsam fliegenden Vögel, deren Echos durch die MTI-Vorrichtung gelöscht werden, tritt vor allem im Herbstzug auf: Nach Kaltfrontpassagen herrscht im Schweizerischen Mittelland oft noch während längerer Zeit ein SW- bis W-Wind-Regime; der relativ starke bodennahe Zug erfolgt gegen den Wind und ist entsprechend verlangsamt. Da wir mit STEIDINGER (1968) annehmen, dass Fluggeschwindigkeiten unter rund 30 km/h zu einer Löschung der betreffenden Echos führen, muss bei solchen Wetterlagen mit einem erheblichen Ausfall an Echos gerechnet werden.

Aus der Vielzahl der Lösungen, die versucht wurden, um die Nachteile der im Flugsicherungsdienst gebräuchlichen Überwachungsanlagen zu umgehen und

ein zutreffendes Bild über Intensität und Höhe des Zuges zu erhalten, greifen wir nur die bedeutendsten heraus: Ein von GAUTHREAUX (1968 und 1970) verwendeter Hochleistungs-*Wetterradar* mit 10 cm Wellenlänge arbeitet ohne MTI mit einem Strahl von 2° Öffnungswinkel und je nach Zughöhe veränderbarer Elevation. Unter Ausschaltung der Hauptnachteile können damit die Vorteile des Überwachungsradars voll ausgenutzt werden. Die beschriebene Methode ist jedoch nur in ebenem Gelände anwendbar und liefert keine exakten Angaben über Zughöhe und Individuendichte (zu grosses Impulsvolumen bei den verwendeten Arbeitsdistanzen von 10 bis 25 Meilen und einer Pulslänge von 4 μs).

Eine genaue Information über die Zahl der in einem bestimmten Luftvolumen fliegenden Vögel ist nur erhältlich, wenn ein Radargerät mit höchstem Auflösungsvermögen und geringer Arbeitsdistanz verwendet wird. Die Genauigkeit der Information muss erkauft werden mit einer geringen Grösse des überwachten Luftraumes. Gute Voraussetzungen für solche quantitativen Studien bietet die von BELLROSE und GRABER (1963) angewendete Methode der Abtastung eines Kegelmantels von 60° Neigung gegenüber der Vertikalen mit dem «pencil beam» eines X-Band-Radars, wobei die Messungen aber im zitierten Fall auf Höhenbereiche zwischen 450 und 1800 m beschränkt waren. Die von EASTWOOD und RIDER (1966) entwickelte und von EASTWOOD (1967) durch Verbreiterung des Strahles verbesserte «vertical beam method» war beschränkt auf Höhenbereiche zwischen $\sim$ 200 und 2500 m über Boden.

Mit einem modernen Feuerleitradar, wie er von der Firma Contraves AG hergestellt und in der Schweizer Armee eingesetzt wird, schien es möglich, exakte Angaben über die Intensität des Zuges in allen Höhenbereichen von wenigen Metern über dem Antennenniveau bis zu 4000 m Höhe zu erhalten. Zudem eröffneten sich mit einem solchen Gerät all die Möglichkeiten einer qualitativen Analyse des Zuges, wie sie von SCHAEFER (1966) vorgeschlagen worden waren.

2.2 *Radaranlage und Stellungsort*

Das verwendete Radargerät ist ein Feuerleitradar vom Typ «Superfledermaus»; es wurde uns im Frühling 1968 von der Firma Contraves AG, in der Beobachtungsperiode 1969 von der Schweizer Armee (Abt f Fl u Flab) zur Verfügung gestellt. Die Reichweite des Gerätes beträgt für einen Buchfinken in Caudalansicht, d. h. bei minimalem Streuquerschnitt, $>$ 4 km. Weitere technische Daten wie Leistung, Pulsfrequenz, Pulslänge, Antennendiagramm usw. können aus Gründen der militärischen Geheimhaltung nicht publiziert werden.[2] Das Gerät weist alle Merkmale eines typischen Zielverfolgungsradars auf: Es arbeitet im X-Band und emittiert extrem kurze Sendeimpulse in einem enggebündelten Strahl (pencil beam); ausgewählte Echos oder optisch festgestellte Ziele können automatisch verfolgt werden, wobei die Raumkoordinaten der betreffenden Objekte auf Messinstrumenten angezeigt werden. Die Darstellung der Echos erfolgt auf einer A-Spur und wahlweise auf einem Plan-Positions-Indikator (PPI) oder auf einem Distanz-Höhen-Indikator (RHI). Als Suchmethoden kommen bei geringen Zugdichten eine Sektor-Suchbewegung oder eine spiralförmige Suchbewegung (helical

[2] Diesbezügliche Abbildungen sind schematische Beispiele, die für einen beliebigen Feuerleitradar Gültigkeit haben; Berechnungsmethoden werden mit Hilfe von Algebren demonstriert. Eine Funktionsbeschreibung zum Prototyp des hier verwendeten Gerätes wurde 1957 von BRAUN publiziert.

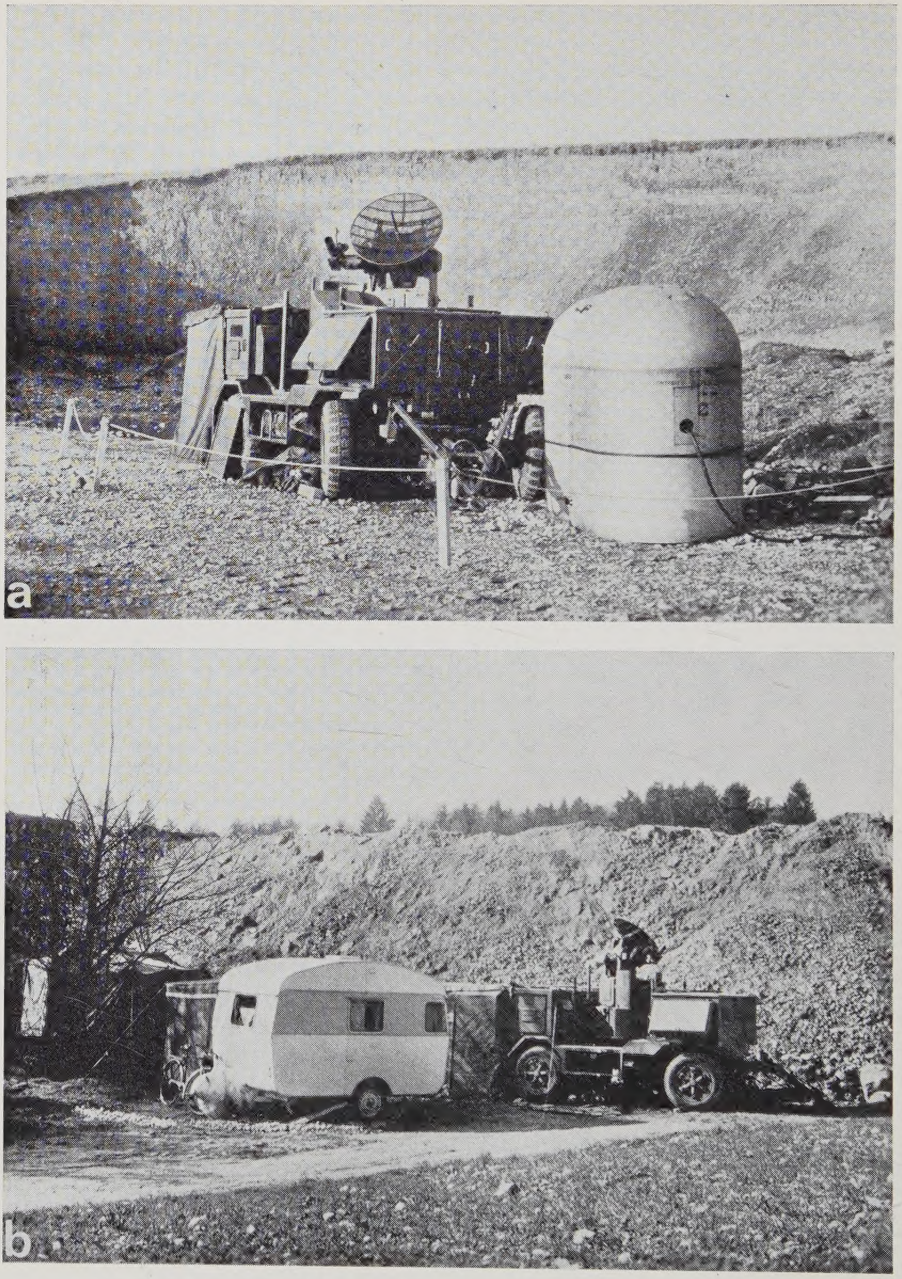


ABB. 2. Das Radargerät «Superfledermaus» in Betriebsstellung. Durch die Aufstellung in einer Grube lassen sich Standzeichen vermeiden. a) Stellungsort 1968. Gut erkennbar sind der parabolische Gitter-Reflektor mit dem Primärstrahler im Zentrum und das parallel zur Antennenachse verlaufende Fernrohr. b) Stellungsort 1969.

searching) in Frage; bei normaler Zugdichte genügt es, die Winkelstellung der Antenne von Hand zu verändern. Da ohne MTI und mit ausgeschalteter oder doch sehr schwacher STC gearbeitet werden muss, ist die Wahl des Stellungsortes von grösster Bedeutung. Voraussetzung für ein von Standzeichen möglichst unbeeinträchtigtes Radarbild ist ein Stellungsort in einer Mulde, deren Rand die möglichen Quellen von Störechos abdeckt (vgl. Abb. 2). Für unsere Arbeit wurden zu diesem Zweck leerstehende Kiesgruben in der Gegend des Flughafens Zürich-Kloten verwendet: Im Frühling 1968 eine Grube 1 km SSW Neerach, 470 m ü. M. (rund 50 m über dem Talboden) und im Frühling 1969 eine Grube 1 km SW Bachenbülach, in der Flugplatzebene 420 m ü. M.

2.3 *Qualitative Methoden*

Die qualitativen Methoden geben Aufschluss über die Flugwege einzelner Objekte sowie über den Betrag und die relativen Änderungen der von diesen Objekten reflektierten Energie. Sie umfassen Höhenwindmessungen, Flugwegbestimmungen sowie Registrierung und Analyse von Echosignaturen. Detaillierte Darstellungen der theoretischen und radartechnischen Grundlagen zum Studium von Echosignaturen finden sich bei SCHAEFER (1966 und 1968). Diese glänzenden Arbeiten bilden auch die Basis für unsere eigenen diesbezüglichen Untersuchungen.

2.3.1 *Windmessungen*

Für die Berechnung von Eigengeschwindigkeit und «heading» ziehender Vögel sind möglichst häufige Windmessungen am Beobachtungsort notwendig. Es wurden deshalb pro Nacht bis zu drei Messungen durchgeführt: Zu diesem Zweck wurden mit Aluminium-Reflektoren versehene Wetterballone automatisch verfolgt; ihre Position wurde periodisch registriert, indem die Messinstrumente des Radargerätes in Abständen von 30 Sekunden photographiert wurden. Die Werte für den Kurswinkel sowie für die vertikale und horizontale Geschwindigkeit wurden anschliessend berechnet.[3]

2.3.2 *Flugwegbestimmungen*

Die Bestimmung der Flugwege von Vögeln verlief analog den Windmessungen. Bei der Auswahl der Echos wurde darauf geachtet, dass nicht irgendein Höhenbereich oder eine bestimmte Echogrösse bevorzugt wurde. Dennoch dürften mittlere Distanzen (1—2 km) und grosse Echos eine gewisse Anziehungskraft auf den Beobachter ausüben und damit in etwas grösserer Zahl erfasst werden als extreme Distanzen und sehr kleine Echos. Wir verfolgten jedes Objekt während mindestens 1½ Minuten, d. h. über eine mittlere Flugstrecke von 1200 m. Aus den vier photographisch registrierten Positionsangaben wurden folgende Elemente des Flugweges gemäss den Angaben in Annex V berechnet:

— Zugrichtung (track)
— Zuggeschwindigkeit (ground speed)
— Flughöhe
— Steigung bzw. Gefälle des Flugweges
— Einstellung der Körperachse (heading)

[3] Berechnungen durch P. STEIDINGER.

— Eigengeschwindigkeit (air speed)
— Winkel zwischen der Achse des Radarstrahles und der Körperachse des Vogels (Winkel des Polardiagramms)
— Windvektor in Richtung heading
— Windvektor in Richtung track

2.3.3 *Analyse von Echosignaturen*

Bei allen automatisch verfolgten Objekten wurden während der Flugwegregistrierung die Fluktuationen der Echos auf Magnetband aufgezeichnet, indem die Signale der Automatischen Verstärkungsregulierung (AVR) auf eine Trägerfrequenz aufmoduliert und mit Hilfe eines Tonbandgerätes gespeichert wurden. Genaue Beschreibungen betreffend Registriermethoden und Interpretationen der aufgezeichneten Signale finden sich bei BRUDERER (1969) sowie bei BRUDERER und JOSS (1969).

Die langsamen Intensitätsschwankungen der Echos liefern bei geeigneter Eichung des Gerätes Anhaltspunkte über die Grösse der verfolgten Objekte: Unter günstigen Bedingungen ergeben sich bei minimalen Gewichtsunterschieden der Vögel von 1 : 3 deutlich verschiedene Streuquerschnittkurven. Fliegen die Vögel im Bereich von Regenwolken oder in schwachem Regen, so sind die Streuquerschnittmessungen unbrauchbar, da die grosse Zahl der im Impulsvolumen enthaltenen Wassertröpfchen den Streuquerschnitt wesentlich beeinflussen kann.

Anhand der raschen Echofluktuationen können folgende Objektgruppen unterschieden werden (z. T. unter Berücksichtigung der Flugwegberechnungen):

— Insekten
— Fledermäuse
— Vogelgruppen
— Einzelvögel

Die exakte Bestimmung der Flügelschlagfrequenz sowie der Länge von Schlagphasen und Pausen innerhalb des Flügelschlagmusters erlaubt darüber hinaus eine Charakterisierung von «Radararten» oder «Echoarten» (vgl. Kap. 3.3).

2.4 *Quantitative Methoden*

Die Ergebnisse der quantitativen Untersuchungen stehen im Zentrum der vorliegenden Arbeit. Sie geben Aufschluss über Zugfrequenz und Zugdichte in allen Höhenlagen bis 4000 m ü. B.

2.4.1 *Die «vetical beam»-Methode* (Abb. 5)

Grundprinzip unserer Zählungen war die von EASTWOOD (1967) beschriebene «vertical beam»-Methode: Der durch eine rasche konische Abtastbewegung des Primärstrahlers erzeugte «pencil beam» wird dabei vertikal emporgerichtet; die den Strahl durchquerenden Objekte treten auf der A-Spur des Gerätes distanzgerecht in Erscheinung (Abb. 3). Die Registrierung kann optisch erfolgen, indem man die Distanzen der auftauchenden Echos auf Band spricht oder sie kann photographisch geschehen, wobei das Signal der A-Spur auf einem separaten Kathodenstrahloszillographen [4] in Z-Modulation dargestellt und mit einem kontinuierlich laufenden 36-mm-Film aufgezeichnet wird (vgl. Abb. 4). Als Stan-

[4] Der KO wurde uns in freundlicher Weise von Herrn Prof. Dr. E. BALDINGER †, Vorsteher des Institutes für angewandte Physik Basel, zur Verfügung gestellt.

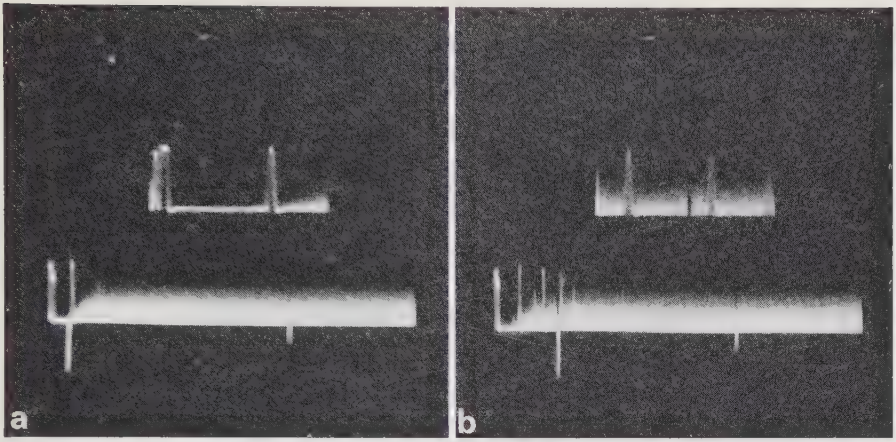


ABB. 3. Der Distanzindikator der Superfledermaus. Auf der unteren Spur ist ein Distanzbereich von 15 km dargestellt; auf der oberen Spur, dem sogenannten «kleinen Fenster» kann ein beliebig wählbarer Ausschnitt von rund 2 km Länge aus der unteren Spur herausvergrössert werden. Mit Hilfe des «kleinen Fensters» wurden die Zugfrequenzbestimmungen durchgeführt. a) Distanzmarke auf 900 m eingestellt; vertikale Antennenstellung. Im «kleinen Fenster» ist links das Startsignal des Sendeimpulses (Nullpunkt der Zeitbasis) sichtbar, auf der Distanz (= Höhe) von 1,1 km ein Vogelecho. b) Distanzmarke auf 2,6 km eingestellt; Antennenelevation 200 ‰. Dichter bodennaher Zug. Auf der unteren Spur sind nebst dem Sendeimpuls insgesamt 6 Vogelechos sichtbar: Drei Vögel befinden sich im Zentrum des Strahles und ergeben deutliche Echos. Ein ganz schwaches Echo ist auf ca. 5 km Distanz gerade noch über dem Rauschpegel erkennbar. Auf etwa 3,5 km und auf 1,5 km Distanz befinden sich ebenfalls schwache Echos, deren Urheber möglicherweise nicht genau im Zentrum des Strahles fliegen.

dardmethode wurde die optische Zählung verwendet, da sich die Photoregistrierung unter feldmässigen Verhältnissen als sehr störanfällig erwies; zudem ist die Beurteilung der Filmstreifen oft schwierig, da kleinste Echos (bei grosser Entfernung) nur eine undeutliche Schwärzung des Films ergeben und bei niedrig gestellter Antenne (siehe Abschnitt 2.4.2) überlappende Echospuren entstehen.

Die Zählungen erfolgten auf dem «kleinen Fenster» des Distanzindikators (Abb. 3), in dem ein beliebiger Ausschnitt von rund 2 km Länge aus dem gesamten Distanzbereich dargestellt werden kann. Wir stellten die Distanzmarke in der Mitte des «Fensters» jeweils während einer Zeitspanne von 10 Minuten auf 1 km ein, in den folgenden 10 Minuten auf 3 km, und protokollierten die auftauchenden Echos für Distanzintervalle von 100 m. Auf diese Weise wurde in zwei Phasen der Höhenbereich bis zu 4 km ü. B. kontrolliert. Objekte in grösserer Höhe konnten, wenn nötig, auf der unteren Spur des Distanzindikators festgestellt werden.

2.4.2 *Ergänzung der «vertical beam»-Methode*

Die antennennahen Bereiche (rund 200 m) liegen infolge der Erholungszeit der SE-Zelle im radartoten Raum. Um auch diese bodennahen Luftschichten überwachen zu können, wurde das Prinzip des vertikalen Strahles ergänzt durch Messungen mit geringer Antennenelevation senkrecht zur dominierenden Zugrichtung im Beobachtungsgebiet (Abb. 5); wir bezeichnen diese Richtung im

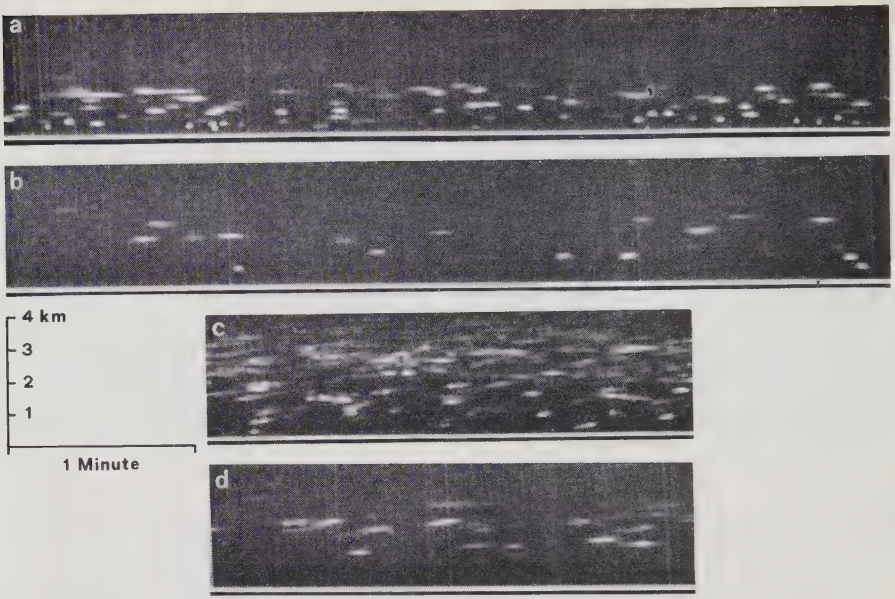


ABB. 4. Mit einem kontinuierlich laufenden 36-mm-Film aufgenommenes Bild der A-Spur (Distanzindikator) in Z-Modulation. Filmvorschub 1/2 mm pro Sekunde. Die Höhe des Filmstreifs entspricht einer Distanz von 4 km. a) Vertikale Antennenstellung; hohe Zugdichte; Obergrenze des Zuges auf ca. 1600 m; Einzelecho auf 2900 m ü. B.; Länge des dargestellten Zeitraumes: 5 Minuten. b) Vertikale Antennenstellung; geringe Zugdichte. c) Elevation 200 ‰; hohe Zugdichte. Weit entfernte Echos sind auf dem Film z. T. nur schwach erkennbar (vgl. Text). Zugrichtung z. T. nicht senkrecht zum Radarstrahl. d) Elevation 200 ‰; geringe Zugdichte.

Folgenden als Hauptzugrichtung [5]. Im Frühling 1968 (Stellungsraum Neerach) wurde mit einer Elevation der Strahlachse von 100 ‰ gearbeitet, so dass trotz erhöhtem Standort Vögel bis hinab auf 65 m über dem Talboden erfasst werden konnten. Der Standort vom Frühling 1968 lag im Talboden, erforderte aber eine grössere Antennenelevation (200 ‰) und erlaubte ein Erfassen von Vögeln mit einer Minimalflughöhe von 30 m.

Die Arbeit mit niedriger Antennenstellung erfolgte jeweils unmittelbar anschliessend an die Messungen mit senkrechter Antenne und wurde ebenfalls in zwei Phasen von je 10 Minuten durchgeführt, wobei die Zählungen bei grosser Distanz (2—4 km) zur Kontrolle der bei vertikaler Antennenstellung erhaltenen Ergebnisse verwendet werden konnten.

Eine Schwierigkeit ergibt sich bei diesen Messungen daraus, dass sie nicht wie die Messungen bei vertikal gerichtetem Strahl unabhängig von der Zugrichtung sind. Vögel, deren Zugrichtung nicht senkrecht zur Strahlachse verläuft, haben bei gleicher Anfangsentfernung einen längeren Weg bis zur Registrierebene [5] zurückzulegen als Vögel, die den Strahl senkrecht anfliegen (vgl. Abb. 5).

[5] Die Registrierebene entspricht der Vertikalebene durch die Strahlachse und wurde willkürlich senkrecht zur von GEHRING (1963) bestimmten Hauptzugrichtung des Tagzuges im Herbst (~ 234°; von GEHRING etwas unglücklich als «Primärrichtung» bezeichnet; vgl. dazu SCHÜZ 1971) festgelegt. STEIDINGER (1968) fand für den Nachtzug im Herbst eine Hauptzugrichtung von 243°.

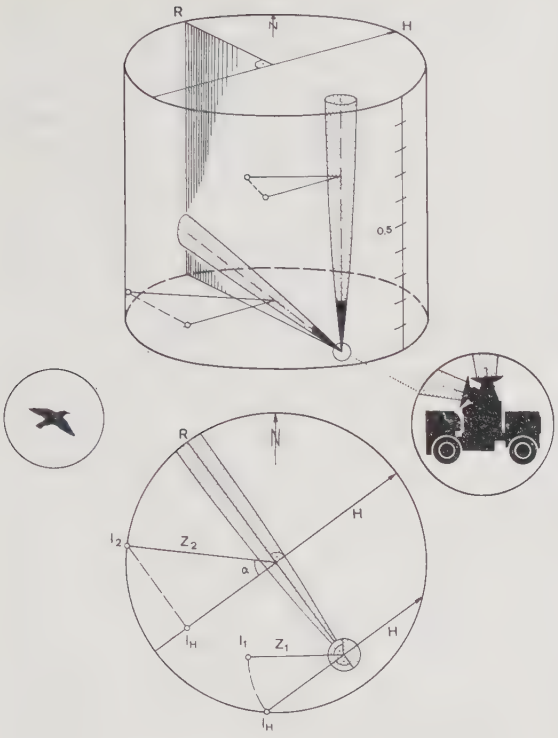


ABB. 5. Prinzip der ergänzten «vertical beam»-Methode: Der Strahl wird in einer ersten Phase vertikal empor gerichtet; dabei kann ein Bereich von rund 200 m über der Antenne nicht erfasst werden (schwarz ausgefüllte Zone des Strahles). Dieser Bereich wird in einer zweiten Phase mit geringer Antennenelevation kontrolliert. Die räumliche Darstellung (oben) zeigt einen zylinderförmigen Raum mit einer Höhe von 1 km und dem Stellungsort des Radargerätes im SE. Darunter ist der Grundriss dieses Zylinders wiedergegeben. In beiden Zeichnungen ist die N-Richtung markiert, mit H ist die angenommene Hauptzugrichtung und mit R die Registrierebene für den niedrig gestellten Strahl bezeichnet. Die kleinen Kreise symbolisieren einzelne Vögel, wobei I_H ein Individuum mit Hauptzugrichtung, I_1 und I_2 je ein Individuum mit der Zugrichtung Z_1 bzw. Z_2 darstellen. $\propto$ ist der Winkel zwischen der wirklichen und der angenommenen Zugrichtung. Weiteres im Text.

Die von den einzelnen Individuen zu überwindende Wegstrecke ist umgekehrt proportional dem Cosinus des Winkels $\propto$ zwischen ihrer Zugrichtung und der Senkrechten zur Registrierebene. Die Zahl der passierenden Vögel sinkt deshalb mit cos $\propto$. Dieser Fehler wurde im Material vom Frühling 1969 korrigiert, indem mit Hilfe der qualitativen Daten die Abweichung der mittleren Zugrichtung der untersten 500 m von der angenommenen Hauptzugrichtung berechnet wurde. Aus der Division der festgestellten Echozahl durch den Cosinus dieses Richtungsunterschiedes ergab sich die korrigierte Echozahl. Im Frühling 1968 liess sich die analoge Korrektur mit Vergleichsmaterial vom Klotener Überwachungsradar durchführen. Für die Streuung der Zugrichtungen wurde kein Korrekturfaktor eingeführt. Die Zugfrequenz wird deshalb in Bodennähe um einen wechselnden — im ganzen aber unbedeutenden — Betrag unterschätzt.

2.4.3 *Berechnung der Zugfrequenz*

Für die Berechnung der Zugfrequenz (Q) werden sowohl bei vertikaler als auch bei niedrig gestellter Antenne Höhenintervalle von 250 m zusammengefasst. Die Zahl der in einem bestimmten Höhenintervall in 10 Minuten festgestellten Vogelechos wird durch die der betreffenden Distanz entsprechende Fläche des

Strahlungsdiagramms (in ha) dividiert (vgl. Abschnitt 2.4.3.3). Daraus ergibt sich die Zugfrequenz in einem Zylinder von 100 m Höhe und 100 m Durchmesser in 10 Minuten. Wird diese Zahl mit 6 multipliziert, so gibt das Produkt die Zugfrequenz [6] in einer Stunde und liegt (zumindest bei vertikalem Strahl) wieder in derselben Grössenordnung wie die ursprünglich festgestellte Echozahl.

Um diese Berechnungen durchführen zu können, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein:

— Echos, die nicht von Vögeln stammen, müssen vor der Berechnung eliminiert werden.
— Die Reichweite des Gerätes muss für Vögel mit bekanntem Streuquerschnitt bestimmt werden.
— Das Strahlungsdiagramm der verwendeten Anlage muss bekannt sein.
— Die durch optische oder elektronische STC bewirkte Abschwächung der antennennahen Bereiche muss durch entsprechende Korrekturen des Strahlungsdiagrammes berücksichtigt werden.
— Die Anteile verschiedener Streuquerschnittklassen der am Zug beteiligten Vögel müssen grössenordnungsmässig ermittelt werden, um, wenn möglich, einen einzigen, für alle Messungen brauchbaren mittleren Streuquerschnitt und damit das wirksame Strahlungsdiagramm festlegen zu können.

2.4.3.1 Eliminierung von Störechos

Als Störechos kommen für die quantitativen Messungen, abgesehen von starken Regenechos, die die Beobachtung verhindern können, nur Punktechos in Frage, die zu Verwechslungen mit Vögeln Anlass geben könnten. Dies betrifft, wie wir bereits in unserer Publikation von 1969 feststellten, praktisch nur Fledermäuse und Insekten. Beide Objektgruppen können aufgrund von Echosignaturen und Flugwegbestimmungen von Vogelechos unterschieden werden (BRUDERER 1969). Die Durchführung einer qualitativen Analyse des Zuges gibt uns deshalb die Möglichkeit, die ungefähren Anteile dieser unerwünschten Echos an der festgestellten Echofrequenz zu bestimmen.

Das Studium von insgesamt 1227 einzeln verfolgten Echos aus dem Dämmerungs- und Nachtzug im April 1969 ergab, dass die Zahl der Fledermäuse im Beobachtungsgebiet gegenüber der grossen Masse der Vögel von sehr geringer Bedeutung ist. Nur zwei Echos konnten Fledermäusen zugeschrieben werden. Neun weitere Objekte sind aufgrund ihrer Echosignaturen nicht eindeutig als Vögel zu identifizieren, weisen aber für die bei uns üblicherweise vorkommenden Fledermausarten eine zu hohe Fluggeschwindigkeit und einen zu geradlinigen Flug auf. Bei der angewendeten Methode ist als mögliche Fehlerquelle zu berücksichtigen, dass tief fliegende Objekte bei der automatischen Verfolgung oft sehr rasch hinter dem Grubenrand verloren werden, so dass keine Signatur-Registrierung zustande kommt. Es ist deshalb nicht auszuschliessen, dass in den bodennahen Luftschichten der Anteil der Fledermäuse etwas grösser sein könnte als unsere qualitative Analyse angibt. Eine geringfügige Überschätzung des bodennahen Zuges würde jedoch lediglich dem bezüglich der Streuung der Zugrichtungen tolerierten Fehler (Abschnitt 2.4.2) entgegenwirken.

[6] Bei geringer Streuung der Zugrichtungen entspricht diese Zugfrequenz der Zahl von Vögeln, die pro Zeiteinheit eine senkrecht zur Zugrichtung stehende Vertikalfläche von 1 ha durchfliegen.

Zahlenmässig bedeutsamer sind die Insektenechos. 1968 wurde ohne eine elektronische Abschwächung der antennennahen Bereiche (STC) beobachtet. Durch eine visuelle Ausscheidung schwächster Echos gleichsam durch eine «STC» des Beobachters konnte bereits ein grosser Teil der Insektenechos vor der Registrierung eliminiert werden. Dennoch betrug der nachträglich auf rechnerischem Wege [7] aus dem quantitativen Material ermittelte und ausgeschiedene Anteil der Insektenechos in warmen Nächten in Distanzbereichen unterhalb 500 m bis zu 85 % der gezählten Echos. Im Frühling 1969 wurde die Hauptmasse der Insekten durch eine schwache STC eliminiert, so dass auch die Zahl der Insektenechos vernachlässigt werden durfte: Unter den 1227 geprüften Echosignaturen befanden sich nur drei, die von Insekten stammen konnten. Die verwendete STC bewirkte, zusammen mit der SE-Zelle, eine so starke Abschwächung, dass auch Vogelechos merklich davon betroffen wurden. Für die quantitative Arbeit wurde diese Verringerung der Empfindlichkeit in Antennennähe durch eine entsprechende Korrektur des Strahlungsdiagrammes ausgeglichen.[8]

2.4.3.2 Reichweite des Gerätes für Vögel von bekanntem Streuquerschnitt

Nach Bruderer und Joss (1969) liegt der Streuquerschnitt eines Buchfinks bei Caudal- oder Frontalansicht in der Grössenordnung von 2 bis 5 cm^2 gegenüber einem Streuquerschnitt von 10 bis 12 cm^2 bei lateralem Aspekt. Der Mittelwert der reflektierenden Fläche liegt zwischen 5 und 8 cm^2. Werden einzelne Buchfinken bis zur Grenze der Reichweite verfolgt, so ergeben sich (bei Caudalansicht) Distanzen zwischen 4 und 4,7 km.

Die Ventralansicht entspricht bezüglich des Streuquerschnittes ungefähr der Lateralansicht. Da in der Mehrheit der bisher untersuchten Fälle die Lateralansicht den grössten Radarquerschnitt ergab (vgl. auch Houghton 1969a und b) und die Wahrscheinlichkeit solcher Messergebnisse mit abnehmender Wellenlänge steigt, nehmen wir an, dass die den vertikalen Strahl unseres 3-cm-Radars durchquerenden Vögel mehrheitlich einen maximalen Streuquerschnitt präsentieren. Auch kleinste Vögel, bei denen der Mittelwert des Streuquerschnittes etwas unter 2 cm^2 liegt, dürften deshalb in der Regel den Bereich von 2 bis 5 cm^2 reflektierender Fläche erreichen und damit die «Sichtbarkeitsgrenze» von 4 km überschreiten.

Bei niedrig und senkrecht zur Hauptzugrichtung eingestellter Antenne zeigen alle Vögel mit Zugrichtungen, die nicht mehr als $\pm$ 20° von der angenommenen Hauptzugrichtung abweichen, einen Aspekt, der bezüglich des Streuquerschnittes als lateral bezeichnet werden darf. Bereits die Streuung der Zugrichtungen, und in noch stärkerem Masse eine Änderung der mittleren Zugrichtung, bewirken aber, dass ein namhafter Teil der Echos diese Grenze von 20° überschreitet und damit einen Aspekt präsentiert, der grössten Streuquerschnittschwankungen unterworfen ist: Die grössten Schwankungen und oft auch die niedrigsten σ-Werte wurden bei einer Ansicht schräg von vorn (25—70°) und schräg von hinten (155—110° des Polardiagramms) gemessen. Die Filmaufnahmen (Abb. 4) zeigen tatsächlich, dass die Fluktuationen der Echos bei geringer Antennenelevation viel stärker sind (unterschiedliche Intensität der Lichtspuren) als bei vertikaler Antenne. Dies bedeutet, dass bei geringer Elevation nicht ohne weiteres mit

[7] vgl. Annex III.
[8] vgl. Annex II.

Lateralansicht, d. h. mit überdurchschnittlichen Streuquerschnitten gerechnet werden darf. Bis zu Distanzbereichen von 3 km dürfte der Einfluss der geschilderten Phänomene auf die quantitativen Messungen unwesentlich sein, da auch kleinere Streuquerschnitte immer noch registrierbare Echos ergeben. Bei grösseren Distanzen (vgl. Abb. 4) muss hingegen damit gerechnet werden, dass kleine Vögel mit abweichender Zugrichtung der Zählung entgehen können. Die Resultate der Messungen zwischen 3 und 4 km Distanz sind deshalb nur bedingt mit den Ergebnissen der Vertikalmessungen vergleichbar; in der Regel ergeben sie zu niedrige Zugfrequenzen.

Aus den oben aufgeführten Gründen halten wir fest, dass bei vertikaler Antenne auch für kleinste Vögel mit Reichweiten von 4 km gerechnet werden darf. Für grössere Vögel, z. B. bei einer Zunahme des Streuquerschnittes um einen Faktor 3, ergibt sich die Reichweite gemäss dem r^4-Gesetz aus der Multiplikation der bisherigen Reichweite mit $\sqrt[4]{3}$, d. h. mit 1,32.

2.4.3.3 Das Strahlungsdiagramm

Nach der Formel im vorhergehenden Abschnitt kann die maximale Reichweite des Gerätes für einen beliebigen Streuquerschnitt σ berechnet werden, wenn die Reichweite R für einen bestimmten Streuquerschnitt σ_R bekannt ist. Je enger der Radarstrahl gebündelt ist, desto rascher nimmt diese Reichweite mit der seitlichen Abweichung eines Objektes von der Strahlachse ab. Ein Mass für diese Abschwächung pro Winkeleinheit liefert das Antennendiagramm $f(\Theta)$. Mit Hilfe dieser Angaben über die Strahlungseigenschaften der Antenne können die Empfindlichkeitszonen des Strahles berechnet werden. Die graphische Darstellung der Orte gleicher Empfindlichkeit wird als Strahlungsdiagramm bezeichnet. Abb. 6 zeigt ein Beispiel eines solchen Strahlungsdiagrammes für vier Streuquerschnitte, die um rund einen Faktor 3 von einander abweichen. Die Differenz bezüglich der wirksamen Strahlbreite für diese Streuquerschnittunterschiede von 5 dB beträgt ungefähr 10 %. Die Berechnungsformeln für die Strahlbreite auf jeder Distanz unter Berücksichtigung zusätzlicher Abschwächungen durch «optische» oder elektronische STC sind in Annex II wiedergegeben.

2.4.3.4 Anteile verschiedener Streuquerschnitt-Klassen am Nachtzug

Im Folgenden gilt es, den für unsere Messungen gültigen mittleren Streuquerschnitt festzulegen und die durch das Vorhandensein anderer Streuquerschnitte möglich werdenden Fehler abzuschätzen. Dabei genügt es, drei Kategorien zu unterscheiden, nämlich Kleinvögel mit Streuquerschnitten in der Grössenordnung von 2—10 cm^2, mittelgrosse Vögel (z. B. Drosseln) mit Streuquerschnitten im Bereich von 10—30 cm^2 und grosse Vögel (Tauben, Enten) mit Querschnitten in der Grössenordnung von 30—100 cm^2.

Von 1046 bestimmbaren Radarquerschnitten von Einzelvögeln aus Nacht- und Dämmerungszug entfallen 82 % auf die Kleinvogel-Klasse, rund 14 % auf die mittlere Klasse und 4 % auf die Gruppe der grossen Vögel. Dabei dürfte nach Kapitel 2.3.2 der Kleinvogelanteil eher unter- als überschätzt werden.

Da die Kleinvögel offensichtlich den überwiegenden Anteil am Gesamtzug ausmachen, betrachten wir eine reflektierende Fläche von 8 cm^2 als günstigste Basis für die Berechnung des wirksamen Antennendiagramms. Rund 90 % aller Radarquerschnitte streuen nicht mehr als ± 5 dB um diesen Wert, womit im

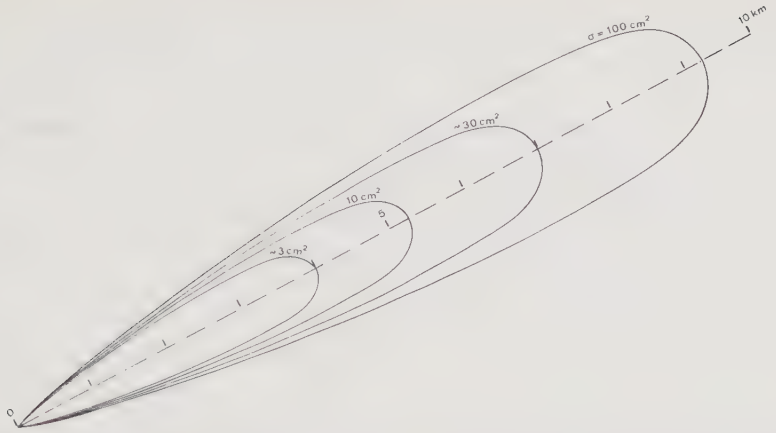


Abb. 6. Strahlungsdiagramm eines Feuerleitradars für Streuquerschnitte von ~ 3, 10, ~ 30 und 100 cm². Die Breite des Strahles ist stark überhöht gezeichnet. Aus der Darstellung wird ersichtlich, wie eine Änderung des Streuquerschnittes um einen Faktor 3 die Reichweite und die Strahlbreite verändert. Spezielles zu den Verhältnissen bei der «Superfledermaus» im Text.

Hinblick auf die ohnehin geringe Zahl der in einer Probe erfassten Echos eine genügende Genauigkeit erreicht sein dürfte.

2.4.4 *Berechnung der Zugdichte*

Die *Zugdichte* (D), d. h. die Zahl der Vögel, die zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem definierten Luftvolumen fliegt, kann aus der Zugfrequenz berechnet werden, indem diese durch die mittlere Zuggeschwindigkeit ($\overline{V}$) auf der entprechenden Höhe dividiert wird. Die Grösse des massgebenden Luftvolumens wurde willkürlich so festgelegt, dass bei einer mittleren Zuggeschwindigkeit von 50 km/h die Beträge von Frequenz und Dichte gleich gross werden. Dies wird erreicht, wenn die Frequenz Q mit dem Faktor $\frac{50}{\overline{V}\ \text{km/h}}$ multipliziert wird. Es ergibt sich daraus ein massgebender Raum von 2 km² Grundfläche und 250 Höhe. Im Frühling 1969 konnten die Zuggeschwindigkeiten aus dem qualitativen Material entnommen werden. Für die Beobachtungsperiode 1968 wurden sie anhand von Standardwerten berechnet, die sich aus dem Material von 1969 ableiten liessen.[9]

2.5 *Zeitplan der Beobachtungen*

Abends, mindestens eine Stunde vor Zugbeginn begann jeweils die Arbeit mit einer Windmessung (Zeitbedarf rund 1 Std.). Anschliessend folgten qualitative Messungen. Ca. um 21 Uhr (1½ bis 2 Std. nach Sonnenuntergang) wurden die ersten quantitativen Beobachtungen durchgeführt; sie nahmen jeweils rund drei Viertelstunden in Anspruch. Bis zur nächsten quantitativen Messung um Mitternacht wurde wiederum qualitatives Material gesammelt. Es folgten in der Regel

[9] vgl. Annex IV und Kapitel 3.2.3.

eine Windmessung und qualitative Arbeit bis 03 Uhr. 2 bis 3 Stunden vor Sonnenaufgang fand die letzte quantitative Nachtzug-Messung statt. Das Ende des Nachtzuges und der Anfang des Tagzuges wurden qualitativ beobachtet. Die quantitative Bewertung des Tagzuges wurde ca. eine halbe Stunde nach dem theoretischen Sonnenaufgang durchgeführt. Bis zum Abflauen des Tagzuges folgten qualitative Beobachtungen und zum Schluss meist eine Windmessung. Für die Beurteilung des Zugverlaufes innerhalb der Nacht wurden 1969 in einzelnen Nächten zusätzliche quantitative Messungen eingefügt; dagegen fehlen 1968 meist die Messungen von 21 Uhr, da damals noch die Weiterentwicklung des Projektes im Vordergrund stand; ausserdem wurde in der Regel nur eine Windmessung kurz vor Mitternacht durchgeführt.

2.6 *Beurteilung und Verwendung des Materials*

2.6.1 *Qualitatives Material*

Die detaillierte Darstellung des qualitativen Materials bezüglich Windmessungen und Flugwegbestimmungen bleibt einer späteren Studie vorbehalten; in der vorliegenden Arbeit dienen diese Resultate lediglich als Hilfsmittel.

Die Ergebnisse der Echosignatur-Analyse werden einerseits — gemäss den Angaben im Abschnitt 2.3.4.1 — für die Eliminierung von Störechos verwendet, andererseits erlauben sie uns eine eindeutige Stellungnahme zum Problem der Gruppenbildung im Tag- und Nachtzug. Ein erster Versuch zur Charakterisierung von «Radararten» oder «Echoarten» [10] hat vor allem methodische Bedeutung und gibt zusätzlich Anhaltspunkte über die Zusammensetzung der beobachteten Zugbewegungen.

2.6.2 *Quantitatives Material*

Abgesehen von den in Kapitel 2.4 beschriebenen, z. T. nicht vollständig abgrenzbaren Fehlerquellen, besteht das Hauptproblem der angewendeten Methode in der Kleinheit des überwachten Raumes. Der durch die konische Abtastbewegung des Primärstrahlers verbreiterte Strahl erreicht für Kleinvögel bei mittlerer Zughöhe nur eine Breite von 100—200 m. Die Zahl der in einer einzelnen Messung gezählten Echos beträgt bei mittlerer Zugdichte im Frühling 100—150 Echos, wobei (je nach Zughöhe) rund die Hälfte auf den vertikalen Strahl und die andere Hälfte auf die ersten drei Kilometer des niedrig gestellten Strahles entfallen.

Eastwood und Rider (1966) weisen aufgrund ihrer Beobachtungen in England darauf hin, dass nicht mit einer idealen, homogenen Verteilung der Vögel gerechnet werden darf (. . . , the birds tended to make their appearances in bursts, . . .). Ein wirklich schubweises Auftreten von Nachtziehern stellten wir dagegen — sowohl am Überwachungsradar als auch am Zielverfolgungsradar — nur bei sehr wechselhaftem Wetter fest; so konnte z. B. beim Herannahen eines Regenschauers der Luftraum rund um unsern Feuerleitradar innerhalb von Minuten frei von Vogelechos sein; schon 2—3 Minuten nach dem Verschwinden der Regenechos konnte unter Umständen in Höhen von 1000 m wieder Zug in mittlerer Stärke herrschen.[11] Die normale Streuung der Echo-

[10] vgl. Kapitel 3.2.
[11] vgl. Kapitel 4.1.7.3.

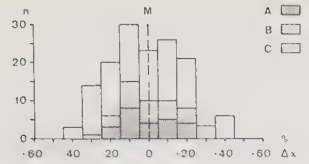


ABB. 7. Schwankungen der Echofrequenz zwischen jeweils 4 aufeinanderfolgenden 5-Minuten-Intervallen. A bei hoher, B bei mittlerer und C bei geringer Echofrequenz. Die Höhe der Säulen gibt an, wie häufig die auf der Abszisse angegebenen prozentualen Abweichungen ($\triangle x$) vom Mittelwert M jeder Viererstichprobe in den Einzelwerten auftraten. Der Mittelwert aus vier Messungen liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % innerhalb eines Vertrauensbereiches von ± 7 % um den Mittelwert der Gesamtverteilung.

frequenz aufeinanderfolgender Zeitintervalle scheint in unserem typisch kontinentalen Beobachtungsgebiet wesentlich geringer zu sein; sie konnte bestimmt werden aufgrund der vom Bild der Z-modulierten A-Spur aufgenommenen Filmstreifen (Abb. 4).

Da bei den Filmregistrierungen jeweils der ganze Bereich von 4 km gleichzeitig überwacht werden kann, steht bei den parallel zu den optischen Zählungen durchgeführten Filmaufzeichnungen für jede Antennenelevation eine Messzeit von 20 Minuten zur Verfügung, so dass bei vertikalem Strahl vier aufeinanderfolgende 5-Minuten-Intervalle miteinander verglichen werden können. Für die Darstellung in Abb. 7 wurden die Resultate verschiedener Messungen mit vergleichbarer Gesamtfrequenz zusammengefasst, indem die vier Einzelwerte jeder Messung als prozentuale Abweichung vom Mittelwert der betreffenden Messung aufgetragen wurden. Die Darstellung erlaubt die Annahme einer zufälligen symmetrischen Verteilung um den Mittelwert; allerdings mit relativ breitem Streubereich. Bei mittlerer und hoher Zugdichte umfasst der aufgrund der t-Verteilung berechnete Streubereich für 95 % der Einzelwerte ± 28 % des Mittelwertes M. Bei geringer Zugdichte steigt die prozentuale Abweichung entsprechend der geringen Echozahl pro Intervall auf ± 40 % des Mittelwertes. Die Streubereiche verkleinern sich, wenn statt einzelner Messwerte die Mittelwerte von vier Messungen verwendet werden können: ihr Mittelwert $\bar{x}$ liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % innerhalb des Vertrauensbereiches von ± 7 % um den Mittelwert M. Für die im quantitativen Material vorhandenen 10-Minuten-Intervalle liegen die entsprechenden Vertrauensgrenzen im Mittel bei ± 20 %.

Für Angaben über die vertikale Verteilung des Zuges wurden jeweils sämtliche Messungen einer Nacht zusammengefasst; bei geringer Zugdichte nach Möglichkeit (d. h. bei gleichbleibender Wetterlage) sogar mehrere Nächte.

Da aufgrund der Schwarmbildung die Echodichte des Tagzuges sehr gering ist, wird der Tagzug nur summarisch behandelt.

2.7 *Meteorologische Daten*

An meteorologischen Informationen stand uns das gesamte Datenmaterial der Flugwetterzentrale Kloten zur Verfügung, das von Herrn A. URFER täglich in einer Witterungs- und Wetteranalyse zusammengefasst wurde. Detailangaben über die lokalen Wetterverhältnisse waren aus den halbstündlichen Messungen der Beobachtungsstation Oberglatt (2,5 bzw. 6 km von unseren Standorten entfernt) zu entnehmen. Über die Höhenströmungen orientierten die eigenen Windmessungen, die Messungen der Höhenstationen Feldberg (Schwarzwald) und Lägern sowie der «Tägliche Wetterbericht» des Deutschen Wetterdienstes. Als Ergänzung wurde der Witterungskalender der Meteorologischen Zentralanstalt verwendet.

3. Ergebnisse der qualitativen Untersuchungen

3.1 *Gruppierung von Tag- und Nachtziehern*

Lowery und Newman wiesen bereits 1955 im Rahmen ihrer Mondbeobachtungen darauf hin, dass der Nachtzug nicht in Gruppen stattzufinden schien. Sutter (1957b) vermutete aufgrund seiner Beobachtungen am Überwachungsradar in Kloten, dass für den Nachtzug ein Flug in sehr lockerem Verband angenommen werden müsse, gegenüber der tagsüber meist in geschlossenem Trupp oder Schwarm erfolgenden Wanderbewegung. Nisbet (1963) zeigte, dass der von ihm verwendete Überwachungsradar über South Truro in der Regel 2—12 Nachtzieher zu einem «angel» zusammenfasste und dass die Grösse dieser Gruppen mit steigender Zugdichte nur sehr langsam zunahm. Er schloss daraus, dass auch nachts viele Vögel in wohldefinierten Gruppen wandern. Eastwood und Rider (1966) stellten fest, dass die Echos der von ihnen verwendeten 23-cm-Radaranlagen normalerweise auf 4 bis 40 Vögel zurückzuführen waren. Ein 3-cm-Radar mit hohem Auflösungsvermögen erfasste dagegen meist Einzelvögel, wobei das Auftreten dieser Einzelvögel sehr unregelmässig und schubweise erfolgte: Die beiden Autoren schlossen aus ihren Feststellungen, dass zumindest ein Teil des Nachtzuges in Form wirklicher, sozial gebundener oder durch gleichzeitigen Aufbruch bedingter Gruppen erfolge, während ein anderer, möglicherweise der bedeutendere Teil, durch grosse Impulsvolumina zu «angels» zusammengefügte Pseudo-Gruppen umfasse. Nach Schaefer (1968) zeigte ein 10-cm-Zielverfolgungsradar mit einem Öffnungswinkel des Strahles von 8° 10' nachts in der Regel Einzelvögel.

Im Folgenden soll einerseits das unterschiedliche Erscheinungsbild des Tag- und Nachtzuges in unserem 3-cm-Radar veranschaulicht und andererseits ein Versuch zur Darstellung der räumlichen Verteilung des Nachtzuges unternommen werden.

3.1.1 *Anteile von Schwärmen und Einzelvögeln am Tag- und Nachtzug*

Im April 1969 wurden über 1500 Echosignaturen registriert und anschliessend im Hinblick auf das Gruppierungsproblem untersucht. Für die Beurteilung der Resultate müssen wir klar vor Augen halten, dass ein Radargerät nicht unmittelbar biologische Informationen vermittelt, sondern eine technische Verschlüsselung derselben. Die Echosignatur eines Einzelvogels enthält keine Angaben über die möglichen akustischen oder visuellen Kontakte dieses Individuums mit einem Kollektiv; sie sagt lediglich aus, dass der betreffende Vogel in einem Impulsvolumen allein fliegt. Ein Impulsvolumen liegt bei unserem Gerät im mittleren Distanzbereich in der Grössenordnung von 1 Mio. m^3; wir können uns diesen Raum als einen Würfel mit 100 m Seitenlänge vorstellen. Entsprechend der Zahl der in einem Impulsvolumen fliegenden Vögel werden folgende Echo- bzw. Objektklassen unterschieden:

A: *Einzelvögel;* Echos, die aufgrund eines regelmässigen Flügelschlagmusters eindeutig auf Einzelvögel zurückzuführen sind.

B: *1—2 Vögel;* Echosignaturen mit nur streckenweise erkennbarem Einzelvogelmuster. Von den temporär auftretenden Störungen im Muster wird angenommen, dass sie jeweils von einem zweiten Vogel stammen, der den Flugweg des bisher verfolgten Vogels kreuzt oder im Parallelflug das Impuls-

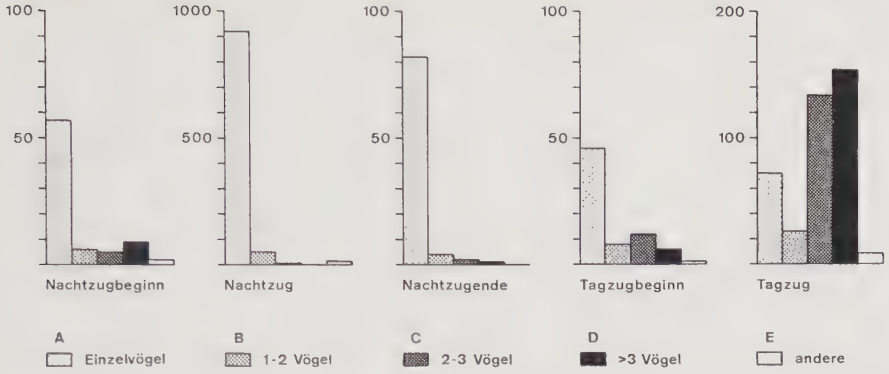


ABB. 8. Häufigkeit der Echosignaturen von Einzelvögeln und «Vogelgruppen» im Tag- und Nachtzug (April 1969). Auf der Abszisse die verschiedenen Objektgruppen A—E. Auf der Ordinate die Häufigkeit der Objekte in absoluten Zahlen.

volumen tangiert (je nach dem Grössenverhältnis und den Flugwegen der beiden Objekte wird vom Radargerät anschliessend das alte oder das neue Ziel verfolgt).

C: *2—3 Vögel;* Echosignaturen mit ständigen starken Fluktuationen, die nur von sehr kurzen, unregelmässig verteilten Ruhepausen unterbrochen werden.

D: > *3 Vögel;* Echos mit ununterbrochenen, mit zunehmender Schwarmgrösse schwächer werdenden Intensitätsschwankungen.

E: *andere;* Mischtyp, in dem Fledermausechos, nicht identifizierte Echos und Insektenechos zusammengefasst sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Hauptmasse der Insekten durch eine STC eliminiert worden war (vgl. Kapitel 2.4.3.1).

Die zahlenmässigen Anteile dieser fünf Echoklassen am Gesamtzug sind in Abb. 8 für fünf zeitlich verschiedene Zugphasen zusammengestellt und lassen einen deutlichen Unterschied in der Zusammensetzung von Tag- und Nachtzug erkennen:

Der *Nachtzugbeginn* (von SU bis 1 Std. nach SU [12]) zeigt bereits einen recht starken Anteil an Einzelvögeln, obwohl der eigentliche Nachtzug erst gegen Ende der Dämmerungsphase in stärkerem Masse einsetzt. Die festgestellten Vogelgruppen stammen nach Beobachtungen am Richtfernrohr meist von Staren *Sturnus vulgaris* und Lachmöwen *Larus ridibundus*, die ihren Schlafplatz aufsuchen.

Nachtzug (1 Std. nach SU bis 1 Std. vor SA): von nahezu 1000 untersuchten Echos konnte kein einziges eindeutig einer Gruppe von mehr als drei Vögeln zugeschrieben werden. Auch Gruppen von 2—3 Vögeln treten nicht in nennenswerten Zahlen auf. Der beim Echotyp B erscheinende Anteil geht vor allem auf Nächte mit sehr dichtem Zug zurück, in denen die Zwischenräume zwischen den einzelnen Vögeln offenbar häufig in der Grössenordnung einer halben Impulsbreite liegen. Im übrigen zeigt ein Feuerleitradar mittlerer Reichweite im Nachtzug der Frühjahrsperiode nur Einzelvögel.

[12] Abkürzungen für Sonnenaufgang und Sonnenuntergang: SA und SU.

Nachtzugende (1 Std. vor SA bis ½ Std. vor SA): Diese Phase zeigt noch genau das Bild des Nachtzuges.

Tagzugbeginn (½ Std. vor SA bis SA): Im Frühling scheint die Gruppenbildung erst ca. eine Viertelstunde vor SA einzusetzen, so dass auch in diesem Zeitabschnitt der Einzelvogel-Anteil noch relativ gross ist.

Tagzug (ab SA): Das Dominieren der Echotypen C und D ist evident. Immerhin erreichen auch die Einzelvogel-Echos einen beachtlichen Anteil. Dies ist charakteristisch für den Frühlingszug, in dem Kleingruppen von 2—12 Exemplaren auch bei Arten überwiegen, die im Herbst in grossen Schwärmen ziehen (z. B. Buchfinken, Tauben) und solitär ziehende Individuen auch bei sozialen Arten eine normale Erscheinung sind. Im Herbst ist deshalb der Unterschied zwischen Tag- und Nachtzug noch wesentlich ausgeprägter.

3.1.2 *Räumliche Verteilung der im Nachtzug festgestellten «Einzelvögel»*

Aus den Ergebnissen der Echosignaturen-Analyse geht hervor, dass ein Raum von ∼ 50 m Radius um ein bestimmtes Individuum normalerweise nicht von einem zweiten Individuum tangiert wird. Die Tatsache, dass bei sehr dichtem Zug die Störungen von Echosignaturen durch Nachbarindividuen häufiger werden, mag andeuten, dass dieser Radius in der Grössenordnung des Minimalabstandes zwischen zwei Vögeln liegt. Durch die Filmregistrierung des Bildes der Z-modulierten A-Spur (Abb. 4) erhalten wir eine genaue Information über die zeitliche Folge der einzelnen Vögel im vertikal gerichteten Strahl. Rechnen wir mit einer mittleren Zuggeschwindigkeit von 48 km/h und einer Registrierzeit von 20 Minuten [13], so können wir uns das auf den Filmstreifen festgehaltene Geschehen statisch vorstellen als Verteilung der Vögel in einem Raum von 16 km Länge, 4 km Höhe und im Mittel 100 m Breite. Dies erlaubt uns, nicht nur die Schwankungen der Echozahl zwischen aufeinander folgenden Zeitintervallen, sondern auch die distanzmässige Verteilung der einzelnen Vögel in der Flugrichtung und in der Höhe zu bestimmen.

Aus Abb. 7 geht hervor, dass die Echofrequenzen verschiedener 5-Minuten-Intervalle, d. h. die Zugdichten verschiedener Raumeinheiten von 4000 × 100 m Grundfläche und 4000 m Höhe, zwar relativ stark streuen, aber doch nicht beliebig weit vom Mittelwert abweichen. Es gibt normalerweise keine Lücken dieser Ausdehnung in der horizontalen Verteilung des Zuges, die mit Bereichen dichtester Vogelkonzentrationen abwechseln würden. Auch bei der Betrachtung von Minutenintervallen (Abb. 9) bestätigt sich der Eindruck, dass einerseits ein grosser Teil der Zugvögel zufällig im Raum verteilt sei, womit ein Absinken der Echofrequenz auf Null verhindert wird, und dass andererseits vorhandene Gruppierungen sehr locker sein müssen, so dass auch keine extrem hohen Echofrequenzen zustande kommen. Intervalle mit der Echofrequenz Null treten erst auf, wenn die mittlere Echofrequenz so tief liegt, dass Frequenzen von Null auch zufällig zu erwarten sind.

Eine Antwort auf die Frage nach den effektiven Abständen (in Zugrichtung) und Zwischenräumen (in der Höhe) zwischen den einzelnen Vögeln erhalten wir, wenn wir die Filmstreifen projizieren und die durch ein Zeitintervall von 5 Minuten in der Längsrichtung des Films festgelegte Distanz von ∼ 4 km auf denselben Maßstab verkleinern wie die dem Höhenintervall von 0,2 bis 4 km

[13] vgl. Kapitel 2.6.2.

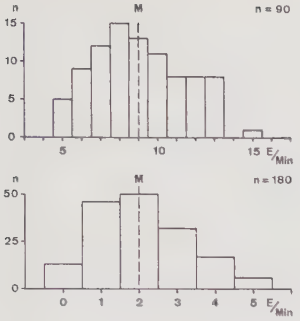


ABB. 9. Absolute Schwankungen der Echofrequenz (Echos pro Min.) zwischen jeweils 20 (einmal 10) aufeinanderfolgenden 1-Minuten-Intervallen. Oben bei mittlerer bis hoher, unten bei geringer Zugdichte. In beiden Fällen ergibt sich eine Zufallsverteilung um einen Mittelwert. Würden innerhalb des Zugstromes Lücken von mehr als 1 km Länge mit Zonen dichtesten Zuges abwechseln, so wäre eine viel flachere, im Extremfall sogar eine zweigipflige Kurve zu erwarten.

entsprechende Breite des Films. Abb. 10 zeigt Beispiele solcher Darstellungen für drei verschiedene Zugdichten. In 30 Diagrammen dieser Art wurden für jedes Echo die beiden kürzesten Abstände zu benachbarten Echos eingezeichnet. Die dadurch z. T. entstehenden geschlossenen Gruppen wurden zudem mit den beiden benachbarten Gruppierungen verbunden (vgl. Abb 10a).

Die Vermessung aller eingezeichneten Distanzen und ihre Zusammenfassung zu Säulendiagrammen (Abb. 11) führt zu folgenden Feststellungen: Die Ver-

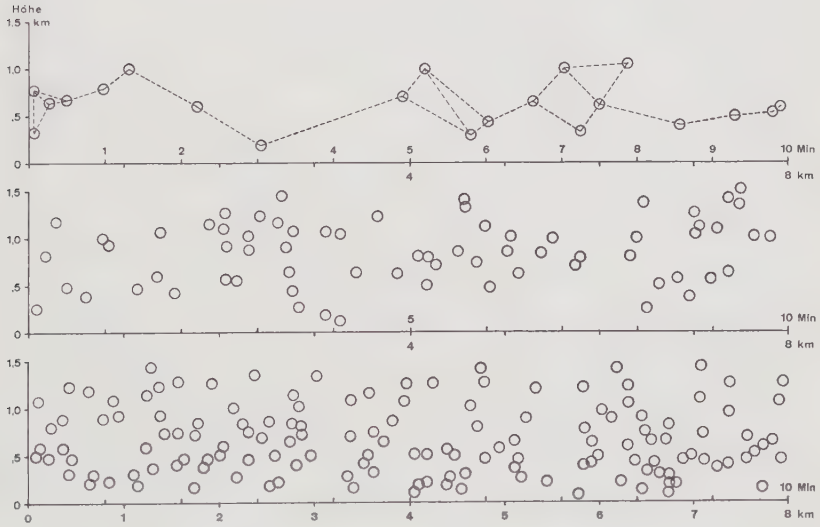


ABB. 10. Darstellung der Abstände zwischen den im Nachtzug festgestellten Einzelvögeln, aufgezeichnet aufgrund von Filmstreifen gemäss Abb. 4a und b, wobei nur der Höhenbereich bis zu 1,5 km berücksichtigt ist. Die beiden Skalen auf der Abszisse stehen für die Messzeit von 10 Minuten sowie für das bei einer angenommenen Zuggeschwindigkeit von 48 km/h dieser Messzeit entsprechende Distanzintervall von 8 km. Der Mittelpunkt jedes Kreises bezeichnet die Position eines Vogels; der Kreisradius entspricht 50 m (d. h. dem Minimalabstand zwischen zwei Individuen). a) oben: Geringe Zugdichte. Jedes Individuum mit seinen zwei nächsten Nachbarn verbunden. b) Mitte: mittlere bis hohe Zugdichte. c) unten: sehr hohe Zugdichte.

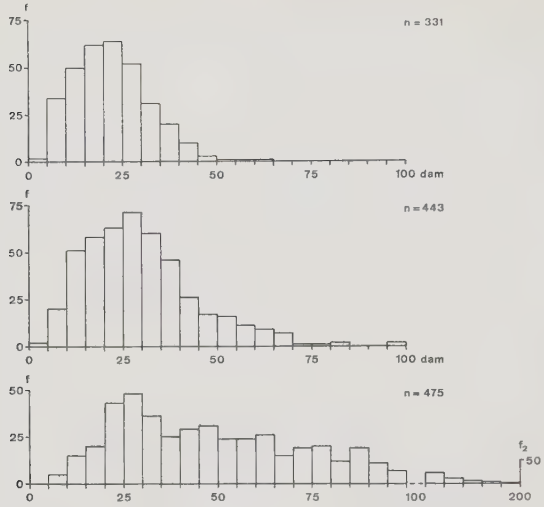


Abb. 11. Häufigkeitsverteilung der Abstände zwischen den Einzelvögeln des Nachtzuges (gemäss Beispiel in Abb. 10); Abstände zusammengefasst zu Gruppen von je 5 Dekametern (dam). a) Sehr hohe Zugdichte. b) Mittlere bis hohe Zugdichte. c) Geringe Zugdichte. Die Tatsache, dass bei geringer Zugdichte ein bedeutender Teil der Abstände in derselben Grössenordnung wie bei hoher Zugdichte erhalten bleibt, kann als Hinweis auf das Vorhandensein von Gruppierungen mit Individualabständen von 100 bis 300 m unabhängig von der Zugdichte gedeutet werden.

mutung, dass der Minimalabstand zwischen zwei Vögeln in der Grössenordnung von 50 m liegt, wird durch alle drei Diagramme bestätigt. Die Zunahme der Abstände ist theoretisch unbegrenzt, was in der Asymmetrie der drei Darstellungen zum Ausdruck kommt. Die häufigsten Abstände liegen im Bereich zwischen 100 und 350 m. Mit abnehmender Zugdichte verschiebt sich das Häufigkeitsmaximum auf der Abszisse etwas nach rechts und die Asymmetrie wird deutlicher.

Wir sehen folgende Interpretationsmöglichkeit dieser Erscheinungen: Jedes der dargestellten Diagramme kann verstanden werden als Kombination zweier Häufigkeitskurven, von denen die eine auf der Zufallsverteilung der gruppeninternen Abstände beruht und die andere auf den mit der Zugdichte wechselnden Abständen zwischen solitär ziehenden Vögeln oder zwischen Gruppen (gruppenunabhängige Abstände). Bei sehr hoher Zugdichte, wie sie bis dahin nur im Herbst beobachtet werden konnte (11a), liegen die gruppenunabhängigen Abstände in der Grössenordnung der gruppeninternen Abstände; die Maxima der beiden Häufigkeitskurven dürften sehr nahe beieinander liegen. Da Abstände unterhalb 250 m überwiegen, scheint es möglich, dass die gruppeninternen Abstände im Vergleich zu geringeren Zugdichten etwas verkleinert sind. Bei mittlerer bis hoher Zugdichte nimmt die Häufigkeit von Abständen unterhalb 100 m stark ab. Der «Normalabstand» innerhalb von Gruppen dürfte zwischen 100 und 300 m liegen (das Maximum der Gesamtkurve kann durch die Summierung mit gruppenunabhängigen Abständen zustande kommen). Die Verteilungskurve der Abstände bei geringer Zugdichte dürfte die bedeutendsten Informationen zum Gruppierungsproblem liefern, da beim Vorhandensein wohldefinierter Gruppen die gruppenunabhängigen Abstände vergrössert, die gruppeninternen Abstände aber in der bisherigen Grössenordnung erhalten bleiben und in der Kurve erkennbar werden müssen. Diese Hypothese wird durch das Bild der Kurve gestützt; die gruppeninternen Abstände scheinen nur wenig vergrössert (200—300 m).

3.1.3 *Diskussion*

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass während des Frühlings im Nachtzug über dem Schweizerischen Mittelland praktisch keine eng geschlossenen Trupps und Schwärme entsprechend dem Erscheinungsbild des Tagzuges vorkommen; sie bestätigen aber andererseits das von verschiedenen Autoren aufgrund von Radarstudien postulierte und aufgrund von Feldbeobachtungen (Flugrufe) zu erwartende Vorhandensein von lockeren Verbänden. Die Individualabstände innerhalb solcher Gruppen scheinen in der Grössenordnung von 100—300 m zu liegen. Die Zahl der in einem Verband fliegenden Vögel kann mit unseren Methoden infolge der geringen Breite des überwachten Raumes nicht sicher ermittelt werden. Rechnen wir mit einer der Längs- bzw. Höhenausdehnung entsprechenden Breite der Gruppen, so ergäben sich bei geringer Zugdichte Individuenzahlen von 2 bis 25, meist aber weniger als 10 pro Gruppe. Die Gruppengrösse bei dichtem Zug kann nicht abgeschätzt werden; es ist nicht ausgeschlossen, dass parallel zu einer gewissen Verkleinerung der Individualabstände eine Vergrösserung der Gruppen auftritt.

Im Frühjahrs-Tagzug fällt einerseits — im Unterschied zum Tagzug im Herbst — die geringe Schwarmgrösse auf, andererseits — in Übereinstimmung mit dem Herbstzug (vgl. GEHRING 1963) — die erst nach Sonnenaufgang stärker werdende Tendenz der Tagzieher zum Zusammenschluss in Schwärmen.

Die Tatsache, dass Tagzieher erst mit zunehmender Helligkeit ihre eng geschlossenen Formationen bilden und dass Arten wie der Star, die sowohl als Tagzieher wie auch als Nachtzieher vorkommen (vgl. DORKA 1966), am Tag und in der Dämmerung in dichtesten Schwärmen beobachtet werden konnten, im von uns erfassten Nachtzug aber nicht in Form von Gruppenechos in Erscheinung traten, lässt vermuten, dass das Einhalten bestimmter Minimalabstände im Nachtzug keine artspezifisch fixierte, sondern eine durch Umwelteinflüsse induzierte Verhaltensweise darstellt. Als Ansatzpunkt für weitere Untersuchungen zu diesem Problem ergeben sich folgende Hypothesen und Fragestellungen:

Da die Helligkeit der dominierende Einfluss zu sein scheint, liegt der Schluss nahe, dass die biologische Bedeutung dieses Verhaltens im Vermeiden von Kollisionen liegen könnte. Sollte diese Vermutung berechtigt sein, so wäre bei guten Sichtverhältnissen eine Verringerung der gruppeninternen Abstände möglich. Vor allem Nächte mit geringer Zugdichte und unterschiedlicher Sicht könnten neue Hinweise zu diesem Fragenkomplex bringen. Die Beobachtung von NISBET und DRURY (1968), dass die Zugdichte in dunklen Nächten durchschnittlich höher und in hellen Vollmondnächten geringer als erwartet war, kann als Hinweis in dieser Richtung interpretiert werden, da der verwendete 23-cm-Radar u. E. bei einer Verringerung der gruppeninternen Abstände mehr Individuen in einem Impulsvolumen zusammenfasst und deshalb eine geringere Echodichte anzeigt.

Da in dunklen Nächten nicht ohne weiteres mit Sichtkontakt zwischen den einzelnen Individuen zu rechnen ist, stellt sich die Frage, ob den vermutlich primär dem sozialen Kontakt zugeordneten Flugrufen nicht eine sekundäre Bedeutung zukommen könnte, indem sie als unadressierte Positionssignale zur Wahrung von Minimalabständen dienen. Eine weitere mögliche Funktion der Flugrufe beim Auffinden der Flughöhe mit günstigsten Windverhältnissen wird von BRUDERER und STEIDINGER (im Druck) diskutiert.

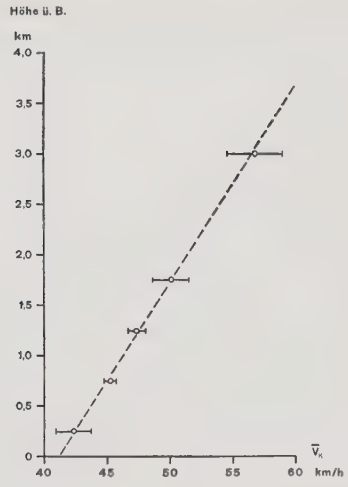


ABB. 12. Mittelwerte der Eigengeschwindigkeit mit ihren Standardabweichungen (standard error), aufgetragen für fünf Höhenstufen. Die Eigengeschwindigkeit steigt im Mittel um 2,5 km/h pro 500 m Höhe.

3.2 *Probleme der Fluggeschwindigkeit*

Die Kenntnis der mittleren Zuggeschwindigkeit ist Voraussetzung für die Berechnung der Zugdichte. Von der Eigengeschwindigkeit der einzelnen Individuen wurden Hinweise für die Artbestimmung erwartet. Beide Parameter werden jedoch durch äussere Faktoren beeinflusst und sind deshalb nicht ohne genaue Kenntnis der auftretenden Veränderungen verwendbar.

3.2.1 *Unterschiede zwischen den Fluggeschwindigkeiten in verschiedenen Höhenbereichen*

Der Versuch, für jede Nacht eine mittlere Geschwindigkeit (ground speed) des Gesamtzuges zu ermitteln, ergab auffallende Differenzen zwischen den Zuggeschwindigkeiten in verschiedenen Höhenlagen. Sowohl bei Gegenwindsituationen als auch bei Rückenwind war die mittlere Zuggeschwindigkeit in der Höhe grösser als in Bodennähe (vgl. dazu die Mittelwerte der Zuggeschwindigkeiten $\bar{V}_Z$ in Tabelle 2). In Tabelle 1 (und Abb. 12) ist der Windeinfluss eliminiert indem die Mittelwerte der Eigengeschwindigkeiten [14] von total 1589 Vögeln für fünf Höhenstufen angegeben werden. Wird die Signifikanz des Unterschiedes zweier benachbarter Mittelwerte nach der Formel

$$t = \frac{(M_1 - M_2) \cdot \sqrt{N_1 \, N_2} \cdot \sqrt{N_1 + N_2 - 2}}{\sqrt{(\Sigma x_1^2 + x_2^2)\,(N_1 + N_2)}}$$

berechnet, so zeigt es sich, dass die Wahrscheinlichkeit eines zufälligen Unterschiedes in allen vier Fällen kleiner als 7 %, in zwei Fällen sogar kleiner als 1 % ist. Die Zunahme der Geschwindigkeit beträgt pro 500 m Höhenzunahme 2—3 km/h oder 4,6—6,6 % der mittleren Geschwindigkeit im betreffenden Höhenintervall.

[14] vgl. Annex V.

TABELLE 1. Mittelwerte der Eigengeschwindigkeiten V_K für 5 verschiedene Höhenlagen. (N = Anzahl der Messungen; $\bar{V}_K$ = mittlere Eigengeschwindigkeit; s = Standardabweichung; $\frac{s}{\sqrt{N}}$ = standard error).

Höhenstufe	Höhe (km)	N	$\bar{V}_K$ (km/h)	s	$\frac{s}{\sqrt{N}}$	Differenz (km/h)	(%)	t	Signifikanzniveau (%)
H I	0—0,5	296	42,4	20,5	1,2				
H II	0,5—1,0	752	43,3	14,1	0,5	2,9	6,6	2,81	99,7
H III	1,0—1,5	366	47,4	13,3	0,7	2,1	4,6	1,91	97,1
H IV	1,5—2,0	122	50,5	15,6	1,4	3,1	6,3	1,48	93,1
H V	2,0—4,0	53	56,8	15,7	2,2	6,3	12,8	2,48	99,4

3.2.2 *Beeinflussung von Zuggeschwindigkeit und Eigengeschwindigkeit durch den Wind*

BELLROSE stellte 1967 fest, dass zwischen der Zuggeschwindigkeit und dem in gleicher Richtung wirkenden Windvektor kein additiver Zusammenhang besteht. Er zeigte, dass bei einer Zunahme der Rückenwindkomponente um 10 Knoten (18,5 km/h) die mittlere Zuggeschwindigkeit nur um 3,2 Knoten (5,9 km/h) zunahm. Offenbar reduzierten die Vögel bei einer Zunahme des günstigen Windes ihre eigene Flugleistung.

Da die Berechnung von BELLROSE mit Korrelationskoeffizienten von r = 0,43 und r = 0,49 nur eine intermediäre Beziehung zwischen Rückenwind und Zuggeschwindigkeit andeuten und sich ausserdem auf ein Kollektiv von Vogelarten beziehen, scheint es sinnvoll, diese Resultate an einem anderen Material zu überprüfen, auf Gegenwindkomponenten auszudehnen und für eine einzelne Art gesondert zu betrachten. Von besonderem Interesse ist im Rahmen unserer Arbeit der Zusammenhang zwischen der Eigengeschwindigkeit und dem Windvektor in Richtung der Körperachse [15], da mit einer genügend gesicherten Korrelation dieser beiden Parameter eine Ermittlung der arttypischen Geschwindigkeit möglich würde.

Da gemäss Kapitel 3.2.1 die Fluggeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt, wurde die dadurch bedingte Gefahr einer Scheinkorrelation ausgeschaltet, indem nur Daten einer Höhenstufe in dieselbe Berechnung einbezogen wurden. Regressionskoeffizient b (Steigung der Regressionsgeraden) und Korrelationskoeffizient r wurden nach den Formeln

$$b = \frac{\sum xy - N\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - N\bar{x}^2} \text{ und } r = \frac{\sum xy \quad N\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\sum x^2 - N\bar{x}^2)(\sum y^2 - N\bar{y}^2)}}$$

berechnet und ergaben für die Beziehung zwischen Zuggeschwindigkeit V_z und Windvektor in Zugrichtung $\vec{V}_{w/z}$ höhere Werte als sie von BELLROSE festgestellt wurden. Insbesondere sind die Regressionsgeraden steiler, d. h. der Unterschied zwischen der mathematischen und der aktuellen Beziehung zwischen den beiden Parametern ist kleiner als im Material von BELLROSE (vgl. Abb. 13). Während nach den Angaben von BELLROSE nur 1/3 des in Zugrichtung wir-

[15] Definitionen und Berechnungsmethoden in den Annexen I und V.

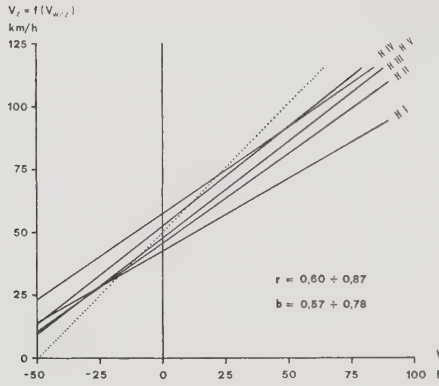


ABB. 13. Mathematische und aktuelle Beziehung zwischen Zuggeschwindigkeit (V_Z) und Windvektor in Zugrichtung ($\vec{V}_{W/Z}$) für fünf Höhenstufen (vgl. Tabelle II). Die Zunahme der Zuggeschwindigkeit mit dem wirksamen Windvektor ist im Mittel um rund 1/3 bis 1/4 kleiner als der berechnete Wert. Die punktierte Linie deutet den theoretischen Verlauf der Regressionsgeraden an (bei einer angenommenen Fluggeschwindigkeit von 50 km/h in ruhiger Luft).

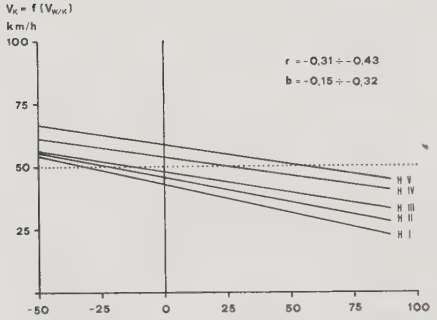


ABB. 14. Eigengeschwindigkeit (V_K) als Funktion des Windvektors in Kursrichtung ($\vec{V}_{W/K}$) für fünf Höhenstufen gemäss Tabelle III. Obwohl keine mathematische Abhängigkeit der beiden Parameter besteht (punktierte Linie), ergibt sich für alle Höhenstufen eine Tendenz zu negativer Korrelation in der Grössenordnung von b = −0,2. Auffallend ist ausserdem die Zunahme der Eigengeschwindigkeit mit der Höhe unabhängig vom Wind (vgl. Kapitel 3. 2.1).

kenden Windvektors auf die Zuggeschwindigkeit übertragen wird, sind es in unserem Falle ungefähr 2/3 bis 3/4, d. h. die Vögel senken ihre eigene Leistung um 1/3 bis 1/4 der wirksamen Windkomponente; bei Gegenwind steigern sie ihre Leistung um den entsprechenden Betrag.

In Tabelle 2 sind die in Abb. 13 verwendeten Grössen der linearen Regressionsfunktionen (r, a und b) für die fünf Höhenstufen zusammengestellt. Aus den Kolonnen 7 und 5 können ausserdem die Zunahme der mittleren Zuggeschwindigkeit $\overline{V}_Z$ mit der Höhe sowie die entsprechende Zunahme der Fluggeschwindigkeit in Zugrichtung ohne Windeinfluss (Koeffizient a = Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der y-Achse) entnommen werden. Tabelle 3 und Abb. 14 zeigen die analogen Ergebnisse für die Wertepaare V_K und $\vec{V}_{W/K}$ (Eigengeschwindigkeit und Windvektor in Kursrichtung).

Die stark positive Beziehung zwischen Zuggeschwindigkeit und Wind lässt bei der Eigengeschwindigkeit eine schwach negative Korrelation mit der zugehörigen Windkomponente erwarten; die beiden Korrelationen dürfen jedoch nicht unmittelbar miteinander verglichen werden, da mit verschiedenen Bezugsgrössen ($\vec{V}_{W/Z}$ bzw. $\vec{V}_{W/K}$) gearbeitet wird. Die Korrelation von Zuggeschwindigkeit und Eigengeschwindigkeit mit den entsprechenden Windvektoren stellt eine starke Vereinfachung komplexer Zusammenhänge dar: Die Wirkung des Win-

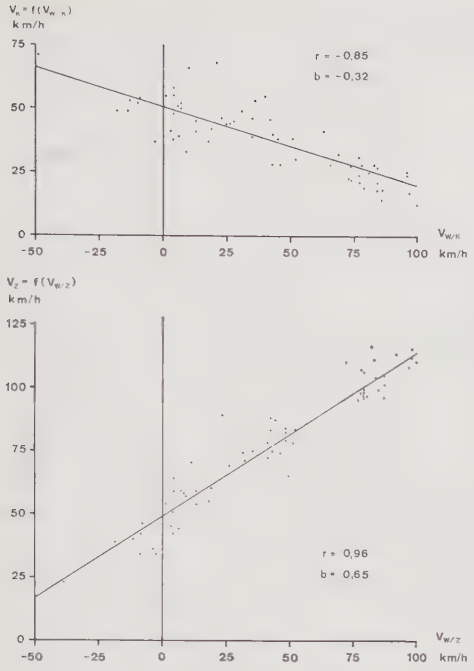


Abb. 15. Korrelation zwischen den Wertepaaren V_K und $\vec{V}_{W/K}$ (oben) sowie V_Z und $\vec{V}_{W/Z}$ (unten) für den Buchfinken *Fringilla coelebs*. Die Korrelation ist deutlich besser als beim Gesamtzug in den Abb. 13 und 14. Da die Windvektoren in Zugrichtung und in Kursrichtung in den berücksichtigten Fällen nur wenig differieren, ergeben die Regressionskoeffizienten b der beiden Korrelationen nahezu komplementäre Werte und dürften — besonders bei den Wertepaaren V_K und $\vec{V}_{W/K}$ — den wirklichen Verhältnissen näher kommen als die in Abb. 14 dargestellten Werte von b $\sim$ −0,2.

des ist zumindest ein zweidimensionales Geschehen und wird durch die Zerlegung in Vektoren auf eine Dimension reduziert, indem jeweils die Windkomponente senkrecht zur betrachteten Flugrichtung (vgl. Annex V) vernachlässigt wird. Komplementäre Werte von b in den Tabellen 2 und 3 wären zu erwarten, wenn (1.) Zugrichtung und Kurs identisch sind, d. h. wenn die Seitenwindkomponenten vernachlässigbar sind und (2.) keine dritte Dimension der Luftbewegung im Spiel ist. Die schlechte Korrelation der Werte $V_{W/K}$ und V_K lässt zusätzliche Komponenten durchaus als möglich erscheinen (vgl. Diskussion).

Sichtbeobachtungen am Richtfernrohr des Radargerätes und eine Anzahl typischer Flügelschlagmuster (Schlagfrequenz 16—17,5 Hz; Schlagphasenlänge 0,1—0,7 Sekunden; Pausenlänge 0,05—0,5 Sekunden) ermöglichten die Berechnung derselben Regressionen für eine einzelne Art, den Buchfinken *Fringilla coelebs*, Abb. 15. Eine Aufteilung in Höhenstufen konnte allerdings nicht vorgenommen werden, da die Zahl der Fälle zu gering und ihre Höhenverteilung vorwiegend auf die beiden untersten Intervalle beschränkt war. Die Korrelation ist wesentlich besser als beim Artengemisch des Nachtzuges. Die Steigung der Regressionsgeraden (b) liegt zumindest bei den Wertepaaren V_Z und $\vec{V}_{W/Z}$ in derselben Grössenordnung wie im Nachtzug (vgl. Abb. 13, 15 und Tabelle 2, 4). Hingegen zeigt das Beispiel, dass sogar bei dieser einzelnen Art der Streubereich der Eigengeschwindigkeit bei gleichem Windvektor in Kursrichtung 30 km/h umfassen kann. Die Verwendungsmöglichkeit der Fluggeschwindigkeit als Kriterium der Artbestimmung scheint unter den gegebenen Bedingungen äusserst problematisch.

TABELLE 2. Korrelation zwischen Zuggeschwindigkeit V_Z und Windvektor in Zugrichtung $\vec{V}_{W/Z}$.

Höhenstufe	Höhe (km)	N	r	a (km/h)	b	$\bar{\vec{V}}_Z$ (km/h)	$\bar{\vec{V}}_{W/Z}$ (km/h)
H I	0—0,5	296	0,60	43	0,57	49	10
H II	0,5—1,0	752	0,77	46	0,70	59	18
H III	1,0—1,5	366	0,87	48	0,76	65	23
H IV	1,5—2,0	122	0,83	53	0,78	72	25
H V	2,0—4,0	53	0,74	58	0,68	70	18

TABELLE 3. Korrelation zwischen Eigengeschwindigkeit V_K und Windvektor in Richtung Körperachse $\vec{V}_{W/K}$.

Höhenstufe	Höhe (km)	N	r	a (km/h)	b	$\bar{V}_K$ (km/h)	$\bar{\vec{V}}_{W/K}$ (km/h)
H I	0—0,5	296	−0,31	43	−0,23	42	6
H II	0,5—1,0	752	−0,36	46	−0,20	45	13
H III	1,0—1,5	366	−0,43	48	−0,17	47	15
H IV	1,5—2,0	122	−0,31	54	−0,15	51	19
H V	2,0—4,0	53	−0,35	39	−0,18	57	12

TABELLE 4. Korrelation zwischen Zuggeschwindigkeit V_Z und Eigengeschwindigkeit V_K des Buchfinken *Fringilla coelebs* und den zugehörigen Windvektoren.

Korrelierte Wertepaare	N	r	a (km/h)	b	$\bar{V}_K$ (km/h)	$\bar{V}_Z$ (km/h)	$\bar{V}_W$ (km/h)
V_K und $V_{W/K}$	64	−0,85	51	−0,32	39		39
V_Z und $V_{W/Z}$	64	0,96	49	0,65		76	41

3.2.3 *Diskussion*

a) Zunahme der Geschwindigkeit mit der Höhe:

PENNYCUICK hat 1969 dargelegt, dass in der unbewegten Luft jedem Vogel, gemäss seinen aerodynamischen Eigenschaften, nur begrenzte Variationsmöglichkeiten seiner Geschwindigkeit zur Verfügung stehen. Sinkt die Geschwindigkeit unter einen bestimmten Betrag oder wird sie über einen bestimmten Betrag erhöht, so steigt die Leistungskurve des Vogels steil an und kann im Extremfall dessen Leistungsgrenzen erreichen. Zwischen diesen beiden Extremen liegen zwei Punkte mit besonders günstigen Geschwindigkeiten: Die Geschwindigkeit minimaler Leistung und die Geschwindigkeit maximaler Reichweite (speed of maximum range). Die Geschwindigkeit maximaler Reichweite V_{mr} ist die Geschwindigkeit, bei der eine bestimmte Strecke mit geringstem Kraftaufwand zurückgelegt werden kann; sie ist stets höher als die Geschwindigkeit minimaler Leistung und dürfte für den Zug (zumindest über Land) die günstigsten Voraussetzungen bieten.

Wird eine der angenommenen Grundeigenschaften (z. B. das Gewicht des Vogels oder die Luftdichte) geändert, so ändert sich auch die Geschwindigkeitskurve des Vogels gesetzmässig. Wird die Luftdichte verringert, so muss der Vogel seine Eigengeschwindigkeit steigern, um mit V_{mr} fliegen zu können. Es ist deshalb zu erwarten, dass die Eigengeschwindigkeit der hoch fliegenden Vögel grösser ist als die der niedrig fliegenden Individuen.

Die Abnahme der Luftdichte ϱ beträgt in der Standardatmosphäre (vgl. z. B. EICHENBERGER, 1966) bei einer Höhenzunahme von 6,5 km $^1/_2$ und lässt sich nach SCHERRER (1957) auf knapp 10 % pro km Höhenzunahme berechnen. Der Luftwiderstand, den ein Vogel erfährt, ist proportional der Geschwindigkeit im Quadrat. Die Geschwindigkeit ist also bei gleichbleibendem Kraftaufwand umgekehrt proportional $\sqrt{\varrho}$. Die Geschwindigkeit nimmt deshalb aufgrund der Abnahme der Luftdichte in 6,5 km Höhe um $\sqrt{2}$ zu. Die Zunahme pro km Höhe kann anhand der Zustandsgleichung der Atmosphäre (SCHERRER 1957) auf 5,5 % berechnet werden.

Die festgestellten Geschwindigkeitszunahmen mit der Höhe lassen sich nicht allein durch die Abnahme der Luftdichte erklären, besonders da die Mehrheit der Vögel mit Rückenwind flog und die in der Höhe stärkeren Rückenwinde nach Kapitel 3.2.2 eigentlich einen Rückgang der Eigengeschwindigkeiten erwarten liessen. Es liegt nahe, zumindest einen Faktor für das Ansteigen der Fluggeschwindigkeit in einer unterschiedlichen Artzusammensetzung des Zuges in verschiedenen Höhen zu suchen. Raschere Flieger würden dabei grössere Flughöhen bevorzugen, während sich die Zugbewegungen der langsameren Flieger in etwas tieferen Luftschichten abspielen würden. Da in grösseren Höhen meist auch stärkere Winde vorherrschen, wird unsere Annahme gestützt durch die Beobachtung von BELLROSE (1967), dass Wasservögel und Limicolen höhere Windgeschwindigkeiten bevorzugen als die langsamer fliegenden Singvögel. Sie widerspricht jedoch der Vermutung von NISBET (1963), dass Singvögel höher ziehen als die meisten grösseren Arten. Weitere Daten, vor allem Streuquerschnittmessungen und Flügelschlagmusteranalysen sind zur Klärung dieses Problems notwendig. Erste Hinweise dazu vermittelt Abb. 17, indem dort bei Kleinvögeln mit sehr hohen Flügelschlagfrequenzen in der Regel die niedrigsten Fluggeschwindigkeiten auftreten, während grössere Typen mit langsameren Flügelschlägen durchschnittlich rascher fliegen.

b) Veränderungen der Flugleistung unter Windeinwirkung:

Die gemessenen Veränderungen der eigenen Flugleistung eines Vogels entsprechend den herrschenden Windverhältnissen scheinen biologisch sinnvoll, da eine Leistungssteigerung bei Gegenwind trotz der Windwirkung eine Fortbewegung relativ zum Boden ermöglicht (auch wenn die Windgeschwindigkeit der mittleren Eigengeschwindigkeit der Art gleichkommt) und eine Senkung der eigenen Leistung bei Rückenwind unter gewissen Umständen eine Energieersparnis bedeuten könnte; sie sind aber theoretisch nicht ohne weiteres erklärbar.

Eine Diskussion des Problems mit G. W. SCHAEFER (mündl.) ergab, dass die berechneten Eigengeschwindigkeiten der Buchfinken (mit Minimalwerten in der Grössenordnung von 15—20 km/h und Maximalwerten um 65 km/h) bei laminarer Strömung und einer der ruhigen Luft entsprechenden Flugweise in äusserst ungünstigen, für den Zug kaum in Frage kommenden Bereichen der Leistungskurve liegen müssten. SCHAEFER nimmt deshalb an, dass einerseits die Luft-

strömungen in der Regel nicht laminar seien und dass anderseits die Vögel besondere Flugweisen entwickelt haben müssten, die ihnen die Ausnützung von Turbulenzen als Flughilfen ermöglichten.

c) Praktische Bedeutung der Ergebnisse:
Bei der Berechnung der Zugdichten sind für die verschiedenen Höhenstufen verschiedene Zuggeschwindigkeiten zu berücksichtigen (vgl. Annex IV). Die mittlere Eigengeschwindigkeit der Zugvögel in verschiedenen Höhenlagen ergibt sich in erster Näherung aus den Werten $\overline{V}_K$ der Tabelle I, wobei in dieser Tabelle die Änderungen der Eigengeschwindigkeit in Abhängigkeit vom wirksamen Windvektor nicht berücksichtigt sind. Da im Gesamtmaterial die Rückenwindsituationen etwas überwiegen, liegen die Werte von a in den Tabellen 2 und 3 etwas höher; die Zunahme des Windeinflusses mit der Höhe bewirkt ausserdem ein Anwachsen dieses Unterschiedes mit der Höhe.

Die Beziehung zwischen der Eigengeschwindigkeit V_K eines Vogels und dem in Richtung der Körperachse wirkenden Windvektor $\vec{V}_{W\,K}$ scheinen sehr komplex und nicht ohne weiteres mathematisch fassbar. Die grosse Streuung der einzelnen Messwerte von V_K und die besprochenen «Seitenwindfehler» machen die «arttypische Geschwindigkeit» V_A zu einer eher problematischen Grösse. Wir verwenden deshalb V_A lediglich in Form des Mittelwertes mehrerer Individuen für die Beschreibung eines Echotyps (vgl. Kapitel 3.3) und nicht für die Identifizierung einzelner Individuen. Wir berechnen V_A (mit Hilfe der etwas unsicheren Regressionskoeffizienten in den Abb. 14 und 15) aus $V_A = V_K + 1/4\,\vec{V}_{W/K}$.

3.3 *Charakterisierung von «Echoarten» anhand der vom Gerät gelieferten Informationen*

Als Hauptmerkmal für die Charakterisierung eines automatisch verfolgten Vogels verwendeten wir in Anlehnung an SCHAEFER (1966 und 1968) die Flügelschlagfrequenz. Eine weitere Gruppierung wurde möglich durch die Berücksichtigung der Länge von Schlagphasen und Ruhephasen innerhalb des Fluges. Artgeschwindigkeit und Streuquerschnitt dienten zu Kontrollzwecken. Im Folgenden soll die methodische oder objektbedingte Problematik der einzelnen Messwerte kurz umrissen werden; ein erster Versuch zur Beschreibung von «Echotypen» bzw. «Echoarten» (Definition in Kapitel 3.3.2) möchte einerseits einen Eindruck von der Verwendungs- und Entwicklungsmöglichkeit der Methode vermitteln, andererseits ergeben sich daraus Anhaltspunkte über die Zusammensetzung des Nachtzuges.

3.3.1 *Flügelschlagfrequenz*

Die Flügelschlagfrequenz wurde in der Regel dem Wechselstromanteil der automatischen Verstärkungsregulierung entnommen; sehr niedrige Frequenzen, die durch die Filterwirkung der raschen AVR abgeschwächt wurden, liessen sich im Signal der langsamen AVR besser ausmessen.[16] Frequenzverdoppelungen, wie sie von BRUDERER (1969) beschrieben worden waren, traten relativ häufig auf; dank dem im Vorbeiflug ständig wechselnden Streuquerschnitt[17] waren die Phasen mit vollständiger Veredoppelung jedoch auf kurze Strecken der Echosignatur beschränkt und konnten leicht erkannt werden. In jeder Echosignatur

[16] und [17] vgl. BRUDERER und JOSS (1969).

wurde die Schlagfrequenz aus mindestens fünf Schlagphasen ermittelt. Trotz der einfachen Registrieranlage dürfen die gemessenen Frequenzen vom methodischen Standpunkt aus als zuverlässig gelten.

SCHAEFER (1968) misst der Flügelschlagfrequenz unter allen verfügbaren Parametern den grössten diagnostischen Wert bei. Er rechnet mit einer Variationsbreite von 10 % für jede beliebige Art. GRIFFITHS (1969) ermittelte für den Star *Sturnus vulgaris* und die Ringeltaube *Columba palumbus* aufgrund von Zeitlupen-Filmen Standardabweichungen von je ± 16 % von der mittleren Schlagfrequenz und eine Gesamtstreuung von ca. ± 18 bzw. ± 16%.

Für die Identifizierung einzelner Echos muss nach unserer Ansicht die Gesamtstreuung berücksichtigt werden, da erst der Mittelwert der Schlagfrequenz von vier Individuen (mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %) innerhalb der Standardabweichung von ± 6 % liegt.

Fraglich ist, ob sich die Variationsbreite in jedem Fall in Prozent der mittleren Schlagfrequenz ausdrücken lässt, ob nicht auch beim Streubereich der Flügelschlagfrequenz arttypische Unterschiede zu erwarten sind, entsprechend den vom Feldbeobachter als regelmässig bzw. unruhig oder unregelmässig bezeichneten Flugformen. Ist nicht z. B. bei einem Buchfink *Fringilla coelebs* ein engerer Streubereich zu erwarten als bei einem Pieper *Anthus* mit seinem unregelmässigen Flatterflug, bei einer Rabenkrähe *Corvus corone* ein engerer als bei einem Eichelhäher *Garrulus glandarius*? Jedenfalls ergaben unsere Messungen bei einzelnen Radararten engere Streubereiche als sie von GRIFFITHS bei Ringeltaube und Star gefunden wurden (vgl. Abb. 17: Echoart Nr. 21a mit ± 2 % Abweichung der vorhandenen Messwerte vom Mittelwert).

Signifikante Unterschiede zwischen den Flügelschlagfrequenzen bei Gegenwind bzw. Rückenwind konnten von GRIFFITHS nicht nachgewiesen werden. Die unterschiedliche Flugleistung der Vögel bei verschiedenen Windverhältnissen scheint auf anderem Wege zustande zu kommen; mit einer Veränderung der Flügelschlagamplitude oder des «Anstellwinkels» von Flügel oder Federn wären ähnliche Effekte zu erreichen. G. W. SCHAEFER (pers. Mitt.) vermutet, dass die Vögel Turbulenzen in der Luft als «Flughilfen» verwenden (vgl. Kapitel 3.2.3). Jedenfalls verdient dieser Punkt bei künftigen Studien grösste Beachtung.

Die bei einzelnen Arten sehr grosse intraspezifische Variationsbreite der Flügelschlagfrequenz und die Häufigkeit der Frequenzen im relativ engen Bereich zwischen 10 und 17 Hz (vgl. Abb. 16) erlauben keine sinnvolle Gruppierung der vorhandenen Echos allein aufgrund der Fluktuationsfrequenz. Die primäre Klassierung des vorhandenen Materials erfolgte deshalb aufgrund der im folgenden Kapitel besprochenen Schlagphasen und Pausen innerhalb des Flügelschlagmusters und erst die Feineinteilung wurde mit Hilfe der Flügelschlagfrequenzen durchgeführt.

3.3.2 *Schlagphasen und Ruhepausen innerhalb des Flügelschlagmusters*

Jeder Feldornithologe verwendet — bewusst oder unbewusst — den Wechsel zwischen Schlagphasen und Ruhepausen im Flug eines Vogels als Bestimmungsmerkmal. Dem Radarornithologen bietet sich in der Echosignatur dieselbe Möglichkeit in viel objektiverer Weise. Werden die Zeitdauer von Schlagphasen und Ruhepausen ausgemessen und der jeweils häufigste Wert sowie die Streubereiche (ohne extreme Einzelwerte) für jedes Individuum auf einer Achse aufgetragen (vgl. Abb. 17), so lassen sich die daraus resultierenden graphischen Darstellungen

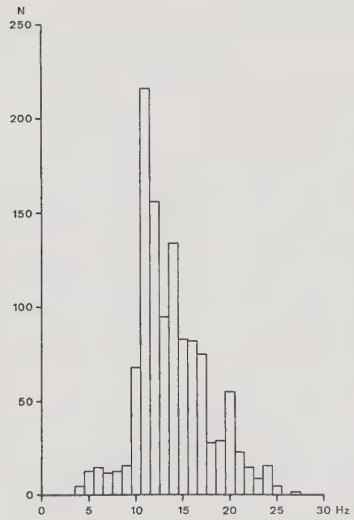


ABB. 16. Häufigkeit verschiedener Flügelschlagfrequenzen im Nachtzug (April 1969). Da die Mehrzahl der Frequenzen im Bereich zwischen 11 und 14 (10—17) Hz liegt, ist eine Klassierung der verschiedenen Individuen allein aufgrund der Flügelschlagfrequenz nicht möglich.

nach verschiedenen Gesichtspunkten gruppieren: Als primäres Ordnungsprinzip wurde in Abb. 17 die relative Lage der Schlagphasen- und Pausenlänge verwendet (am Anfang der Tabelle lange Schlagphasen und kurze Pausen). Ihre absolute Lage ergab ein zweites Kriterium. Aufgrund der Darstellung ist ausserdem anzunehmen, dass Arten mit sehr konstanter Schlagphasen- und Pausenlänge neben Arten mit unregelmässiger Schlagphasenfolge vorkommen, so dass auch dem Streubereich eine gewisse diagnostische Bedeutung zukommt. Individuengruppen, die bezüglich der angeführten Flugmerkmale übereinstimmen, werden als Echotyp zusammengefasst.

Beträgt der Streubereich der Flügelschlagfrequenz innerhalb eines Typs mehr als ± 15 % der mittleren Frequenz oder sind deutlich getrennte Häufigkeitsmaxima unterscheidbar, so wird angenommen, dass der betreffende Typ aus mehr als einer Echoart zusammengesetzt ist. Die Bezeichnungen «Echotyp» und «Echoart» werden analog verwendet wie die taxionomischen Begriffe Gattung und Art, fassen aber nicht notwendig dieselben Vögel zu Einheiten zusammen, da bei der Beurteilung eines Radarzieles nur Flugmerkmale berücksichtigt werden können. Eine Korrelation zwischen der Radar-Klassierung und der taxionomischen Einteilung ist vorläufig nicht möglich, da noch zu wenig Material über die Flugmerkmale der verschiedenen Vogelarten verfügbar ist.

3.3.3 *Streuquerschnitt*

Wird ein Zielverfolgungsradar mit Hilfe von idealen Radarzielen (Metallkugeln) geeicht, so lässt sich die Grösse jedes automatisch verfolgten Objektes anhand der Echogrösse abschätzen. Die komplizierte Körperform und die Bewegungen eines Vogels bringen es aber mit sich, dass die reflektierende Fläche ständig wechselt (vgl. BRUDERER und JOSS 1969). Die Ermittlung des Flugweges aus periodisch registrierten Positionsangaben und die Berechnung des «headings» mit Hilfe von Windmessungen erlauben nur eine approximative Bestimmung des Einfallswinkels zwischen Radarwellen und Körperachse des Vogels; insbesondere

können kurzfristige Kursänderungen nicht berücksichtigt werden. Dies, sowie gewisse Unlinearitäten im verwendeten Signal bewirken, dass die Streuquerschnittmessungen nur statistisch verwendbar sind, d. h. sie liefern Anhaltspunkte über die Anteile verschiedener Grössenklassen an einem Kollektiv von Objekten, über die Homogenität eines Echotyps oder über die mittlere Individuengrösse innerhalb einer Echoart. Sie lassen sich jedoch mit der vorhandenen Registriermethodik nicht als Kriterium der Artbestimmung im Hinblick auf einzelne Individuen verwenden.

3.3.4 *Artgeschwindigkeit*

Die Artgeschwindigkeit hat gemäss Kapitel 3.2.2 unter den vorliegenden Messbedingungen nur eine geringe Bedeutung für die Identifizierung einzelner Echos. Wir verwenden die berechneten Artgeschwindigkeiten lediglich, um die mittlere Geschwindigkeit aller einem Echotyp bzw. einer Echoart zugeordneten Individuen zu bestimmen.

3.3.5 *Zusammensetzung des Nachtzuges*

Abb. 17 zeigt einen Versuch, die Vielfalt der im Nachtzug auftretenden Echos zu ordnen, indem Objekte mit gleichen Flugmerkmalen als Echotypen bzw. Echoarten zusammengefasst und diese ihrerseits als Sukzession zunehmender Abweichung von einem extremen Ausgangstyp dargestellt werden.

Die Typen 1 bis 17 zeigen Flugformen mit längeren Schlagphasen als Pausen, angeordnet in einer Folge zunehmender Verkleinerung des Unterschiedes zwischen Schlagphasen und Pausen. Die Typen 18 bis 20 umfassen eine Zwischengruppe mit kurzen Schlagphasen und Ruhephasen und ausserdem sehr engem Streubereich der beiden Parameter. Die Typen Nr. 21 und 26 enthalten Individuen mit annähernd gleicher Schlagphasen- und Pausendauer, geordnet nach steigender Pausendauer. In den Typen Nr. 27 bis Nr. 34 sind die Pausen länger als die Schlagphasen. Die Sukzession ist aufgebaut aufgrund des zunehmenden Unterschieds zwischen Schlagphasen- und Pausendauer.

Im Folgenden sind für jeden Echotyp aus Abb. 17 die wichtigsten diagnostischen Merkmale sowie zeichnerisch nicht fassbare Ergänzungen und Begründungen für die vorgenommene Gruppierung angeführt:

Typ Nr. 1: Charakteristische Muster mit ununterbrochenen Flügelschlägen; Ruhephasen treten nur ausnahmsweise auf. Die breite Streuung der Flügelschlagfrequenzen (Fsf) deutet auf eine heterogene Zusammensetzung des Typs. Dies wird bestätigt durch die Streuquerschnittmessungen, indem parallel zur Zunahme der Fsf eine Abnahme der Objektgrösse festzustellen ist. Ausserdem scheint die Fluggeschwindigkeit $\overline{V}_A$ der Objekte mit einer Fsf <12 Hz etwas höher zu liegen als diejenige der kleineren Individuen (Fsf > 12 Hz). Typ Nr. 1 setzt sich aus mindestens 4 Echoarten und vermutlich aus einer noch grösseren Zahl von zoologischen Arten zusammen.

Typ Nr. 2: Kleine bis mittelgrosse Vögel mit sehr konstanter Fsf von 14 Hz.

Typ Nr. 3: Annähernd gleiche Schlagphasenfolge wie Typ Nr. 2; unterscheidbar vor allem aufgrund der Fsf. Da die Streuquerschnitte der vier Individuen mit Fsf > 9 Hz höhere Werte zeigen als diejenigen der Vögel mit langsameren Flügelschlägen, nehmen wir innerhalb dieses Typs zwei Echoarten an.

Typ Nr. 4: Sehr seltener Kleinvogeltyp mit einer mittleren Fsf von 11 Hz. Kleiner als Echoart 3 b; Fsf etwas höher; Streuung der Schlagphasenlänge etwas nach links verschoben. Eine Abgrenzung der beiden Echoarten ist nur möglich, wenn sich die Echosignaturen in mindestens zwei der drei Merkmale deutlich unterscheiden.

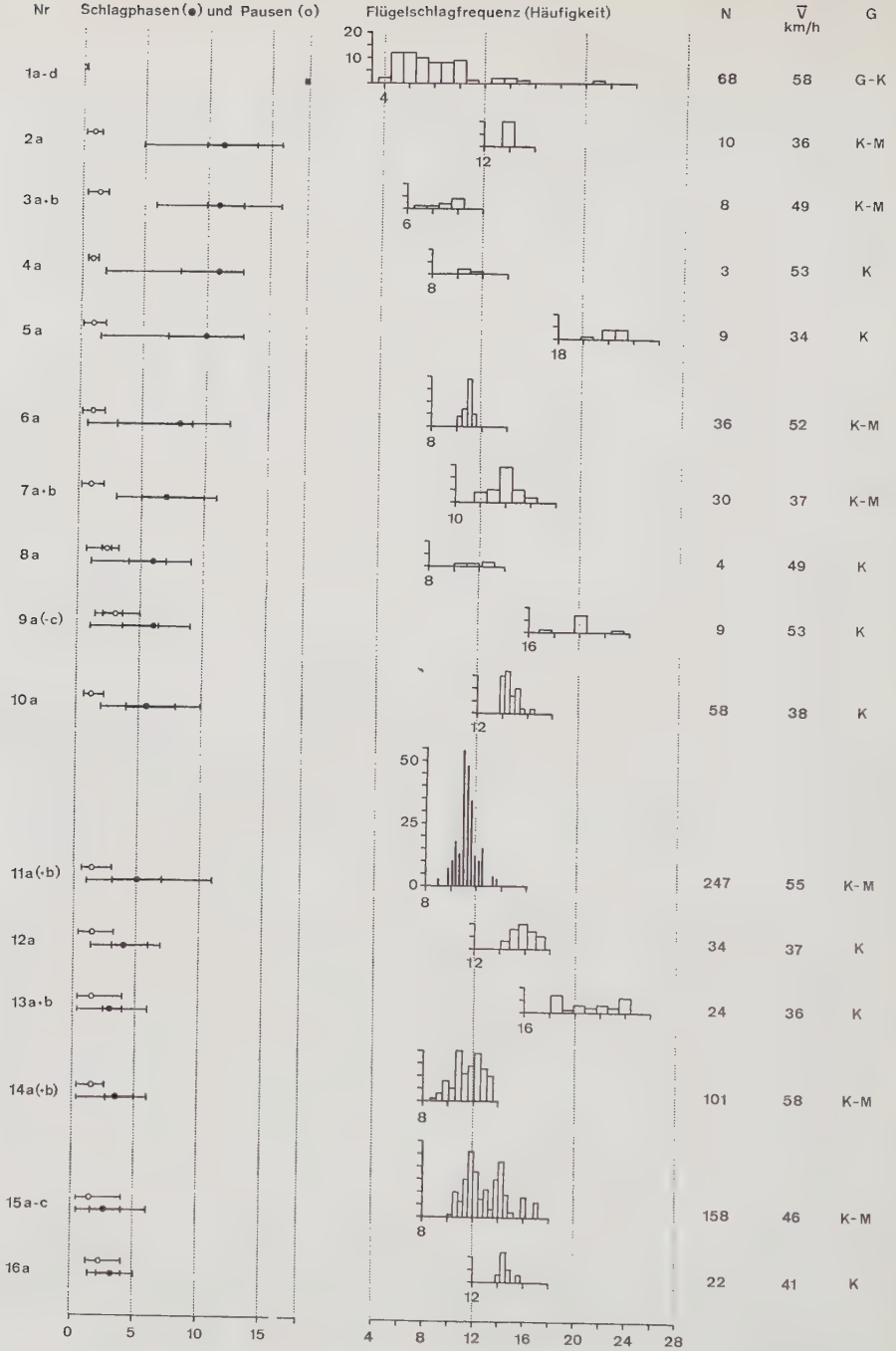
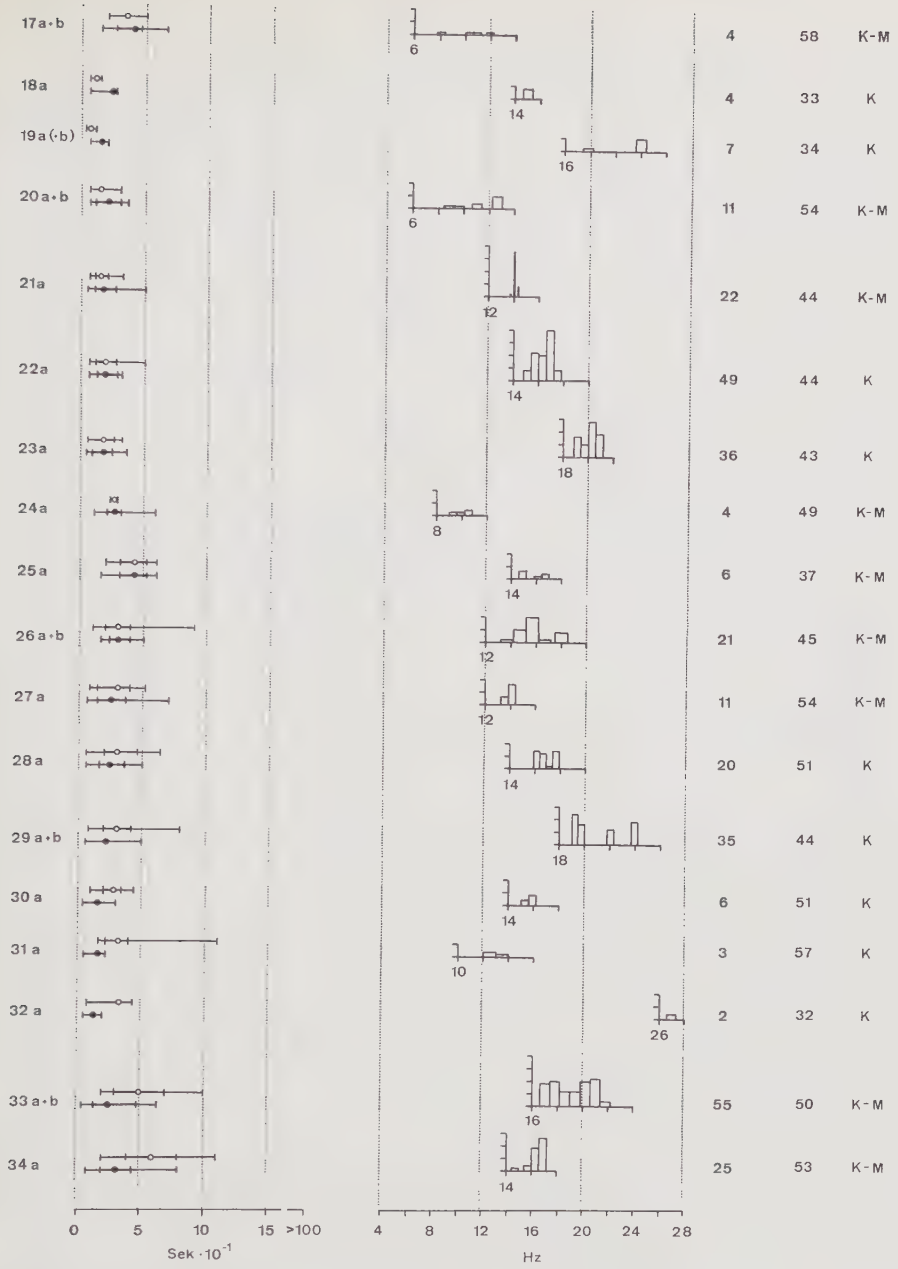


Abb. 17. Klassierung von Radarzielen anhand der Echosignaturen. Die verschiedenen Vogel-Typen sind in der Kolonne ganz links fortlaufend numeriert. Die Buchstaben neben den Typennummern sind ein Mass für die Homogenität des betreffenden Typs. Homogene Typen bestehen aus einer Echoart (a), heterogene Typen aus zwei (a+b) oder aus mehreren Arten (z. B. a—d). In der zweiten Kolonne ist mit einem Punkt bzw.



einem Kreis die häufigste Länge der Schlagphasen bzw. Ruhepausen innerhalb des Flügelschlagmusters eingetragen. Die waagrechten Linien bezeichnen den Streubereich. Breite Streubereiche sind unterteilt in einen engeren Bereich, der von allen Individuen beansprucht wird, und einen äusseren Bereich, der nur in einem Teil der berücksichtigten Muster vorkommt. In der dritten Kolonne ist die Häufigkeit (Ordinate) der gemessenen Flügelschlagfrequenzen (Abszisse) dargestellt; die Säulenbreite ist dabei der Zahl der verfügbaren Messungen (N) angepasst. Die Zahlen in den letzten beiden Kolonnen geben Hinweise auf die mittlere Fluggeschwindigkeit ($\overline{V}$) und die Grösse (G) des betreffenden Typs (K = Kleinvögel; M = mittelgrosse Vögel; G = grosse Vögel). Vgl. Text.

Typ Nr. 5: Aufgrund der hohen Fsf eindeutig von Nr. 4 unterscheidbar, trotz sehr ähnlicher Schlagphasenfolge.

Typ Nr. 6: Relativ häufiger Typ mit einer mittleren Fsf von 11 Hz und geringer Streuung um diesen Mittelwert.

Typ Nr. 7: Individuen mit höherer Fsf zeigen etwas kleinere Streuquerschnitte als diejenigen im Bereich von 12 Hz; es werden deshalb zwei Arten angenommen.

Typ Nr. 8: Aufgrund der Fsf wäre eine Verwechslung mit Radarart Nr. 7a möglich. Da sich die Individuen der Art 7a jedoch ziemlich deutlich in der Schlagphasenfolge unterscheiden und ausserdem im Mittel grössere Streuquerschnitte aufweisen, scheint die Abgrenzung von Nr. 8a als besondere Echoart gerechtfertigt.

Typ Nr. 9: Mit keinem anderen Typ zu verwechseln. Die Streuung der Fsf beträgt ca. ± 15 % und würde damit die Annahme einer einzelnen Art gerade noch zulassen. Mit der Nummerierung 9a (—c) wird angedeutet, dass auch eine heterogene Zusammensetzung des Typs aus zwei bis drei Arten denkbar wäre.

Typ Nr. 10: Häufige Echosignatur, die sich bezüglich der ausgemessenen Fsf kaum mit den beiden benachbarten Typen überschneidet.

Typ Nr. 11: Häufigster Typ mit kleinen bis mittelgrossen Vögeln und einer mittleren Fsf von 11,3 Hz. Die Häufigkeitsverteilung der Frequenzen ergibt eine symmetrische Glockenkurve und könnte damit ohne weiteres auf eine einzelne Echoart zurückgeführt werden. Da die Streuung der Messwerte aber ± 20 % des Mittelwertes beträgt, müssen wir auch eine heterogene Zusammensetzung des Typs in Betracht ziehen.

Typ Nr. 12: Gut definierter, einheitlicher Kleinvogeltyp mit einer mittleren Fsf von knapp 16 Hz.

Typ Nr. 13: Aufgrund der hohen Fsf eindeutig gegen die benachbarten Typen abgrenzbar. Die zweigipflige Verteilung der Fsf erfordert eine Aufteilung in zwei Echoarten.

Typ Nr. 14: Sehr häufiger, vermutlich heterogener Typ. Schwierig gegen Nr. 15a abzugrenzen.

Typ Nr. 15: Aus zwei bis drei Arten zusammengesetzt. Übergang zu Typ Nr. 14 fliessend (Schlagphasen etwas kürzer).

Typ Nr. 16: Aufgrund längerer Ruhepausen und etwas längerer Schlagphasen mit geringer Variationsbreite von Typ Nr. 15 abgetrennt.

Typ Nr. 17: Kleine, uneinheitliche Splittergruppe ohne klar ersichtliche Beziehung zu einem anderen Typ.

Typ Nr. 18: Gut abgrenzbarer Typ; sehr kurze Schlagphasen und Pausen mit geringer Variationsbreite.

Typ Nr. 19: Ähnliche Schlagphasen und Pausen wie Nr. 18, jedoch höhere Fsf. Möglicherweise zwei Arten.

Typ Nr. 20: Mit Hilfe der niedrigen Fsf sicher abgrenzbar. Aufgrund der breiten Streuung der Fsf werden zwei Arten angenommen.

Typ Nr. 21: Typ mit dem engsten Streubereich der Fsf. Überschneidung mit Nr. 22 unwahrscheinlich.

Typ Nr. 22: Bezüglich der Schlagphasenfolge ähnlich wie die beiden benachbarten Typen; mit Hilfe der Fsf jedoch relativ gut abgrenzbar.

Typ Nr. 23: Hohe Fsf; geringe Schlagphasen- und Pausenlänge.

Typ Nr. 24: Dank der niedrigen Fsf nicht zu verwechseln.

Typ Nr. 25: Erster Typ mit Pausenlänge > 4/10 Sek. Evtl fliessender Übergang zu Typ Nr. 26 mit z. T. gleicher Fsf.

Typ Nr. 26: In zwei Echoarten aufzuteilen. Vermutlich nicht immer sicher gegen die beiden benachbarten Typen abzugrenzen.

Typ Nr. 27: Fsf im Mittel geringer als bei Nr. 26; Streuung der Pausenlänge geringer; häufigste Werte der Schlagphasen- und Pausenlänge um weniges nach links verschoben; zudem Pausen etwas länger als Schlagphasen.

Typ Nr. 28: Verwechslung mit 26b möglich. Hier abgetrennt aufgrund der kürzeren Schlagphasen.

Typ Nr. 29: Dank hoher Fsf sicher abgrenzbar. Aus zwei Echoarten zusammengesetzt.

Typ Nr. 30: Die sehr kurzen Schlagphasen erlauben in Verbindung mit der Fsf eine eindeutige Charakterisierung.

Typ Nr. 31: Durch die Fsf von 13 Hz gut von den benachbarten Typen unterscheidbar.

Typ Nr. 32: Typ mit der höchsten Fsf.

Typ Nr. 33: Die zweigipflige Häufigkeitskurve der Fsf lässt auf zwei Echoarten schliessen.

Typ Nr. 34: Evtl. identisch mit Echoart 33a. Schlagphasen und Pausen jedoch etwas länger.

3.3.6 *Diskussion*

Im Kapitel 3.3 wurde vor allem deutlich, dass die Identifizierung von Vögeln anhand von Radarsignalen noch in den Anfängen ihrer Entwicklung steht und dass grösste Anstrengungen notwendig sind, um technische Unzulänglichkeiten auszuschalten und die verschiedenen Möglichkeiten objektbedingter Variationen der einzelnen Parameter zu erkennen und zu eliminieren.

Immerhin zeigt Abb. 17 eine nach objektiven Kriterien mögliche Gliederung der beobachteten Vogelechos, die auch bezüglich der resultierenden Artenzahl vernünftig scheint: Wir zählen rund 50 Echoarten, die im April 1969 je mindestens dreimal festgestellt wurden. Weitere 10 Flügelschlagmuster wurden nur bei 1—2 Exemplaren beobachtet und sind deshalb nicht in die Abb. 17 aufgenommen worden. Die Zahl der zoologischen Arten dürfte etwas höher liegen, da nah verwandte Arten mit ähnlicher Flügelform und Grösse vermutlich kaum unterscheidbare Muster liefern. So ist z. B. beim zahlenmässig stark dominierenden Echotyp Nr. 11 eine Zusammensetzung aus mehreren systematisch oder zumindest flugtechnisch «verwandten» Arten nicht auszuschliessen. Ebenso könnte es sich bei den Typen 14—16 wie auch bei den Typen 25—27 um Gruppen eng liierter Arten handeln, deren Flügelschlagmuster fliessend ineinander übergehen. Es wäre sogar denkbar, dass in jedem dieser Typen ein Gemisch der gleichen Arten enthalten wäre, die zufällig durch den Einfluss bestimmter Flugbedingungen in künstlichen Gruppen aufgetrennt wurden.

Bei den meisten beobachteten Arten dürfte es sich um Singvögel handeln. Non-Passeres sind mit einiger Wahrscheinlichkeit im Typ Nr. 1 zu erwarten, wobei in erster Linie Enten und Limicolen in Frage kommen. Für die folgende quantitative Beurteilung des Zugverlaufes halten wir fest, dass sich unsere Betrachtungen vorwiegend auf Singvögel beziehen.

4. Ergebnisse der quantitativen Untersuchungen

4.1 *Zur Flughöhe ziehender Vögel*

4.1.1 *Höhenmessungen mit Radar*

Nachdem SUTTER (1957a) hervorgehoben hatte, dass optische Messgeräte nicht genügend Informationen über die Flughöhe ziehender Vögel vermitteln konnten, setzten er selbst und in der Folge verschiedene andere Forscher Höhensuch-Radaranlagen (nodding height finders) für Flughöhestudien ein. Systematische

Studien von HARPER (1958) zeigten, dass der grösste Teil des Zuges über East Hill, Bedfordshire, in Höhen zwischen 600 und 900 m erfolgte; häufig wurden Höhen bis zu 1500 m gemessen, seltener bis 3000 m, ausnahmsweise solche über 3000 m (Maximalhöhe 4900 m). LACK (1960a) verwendete ein ähnliches Gerät mit höherer Senderleistung und stellte über der Nordsee bei Norfolk die häufigsten Flughöhen ebenfalls zwischen 600 und 1500 m fest (Maximalhöhe 6300 m). NISBET (1963a) fand die Hauptmasse des Zuges über Cape Cod, Massachusetts, in Höhen zwischen 450 und 750 m; 90 % aller Vögel flogen unterhalb 1500 m (Maximalhöhe zwischen 4500 und 6000 m). Diese Messungen gaben einen ersten brauchbaren Überblick betreffend die allgemeine Verteilung des Zuges oberhalb ca. 500 m. Die Informationen über die bodennahen Luftschichten scheinen unvollständig oder fehlen ganz.

Eine neue Methode der Höhenmessung wurde 1963 von BELLROSE und GRABER eingeführt. Mit dem eng gebündelten Strahl eines 3 cm APS-Radars wurde ein Kegelmantel von 30° Elevation abgetastet, so dass die Flughöhe auf dem Plan-Positions-Indikator abgelesen werden konnte ($h = r \cdot \sin 30° = r/2$). Diese primär für die Bearbeitung von Orientierungsproblemen verwendete Methode war beschränkt auf Höhenbereiche zwischen 450 und 1800 m. Die Untersuchungen von GRABER und HASSLER (1962) hatten ausserdem gezeigt, dass das verwendete Radargerät bei einer Antennenrotation in der Vertikalebene ein völlig anderes Verteilungsbild des Zuges wiedergab (Höhenbereiche zwischen 450 und rund 3500 m) und dass durch die fehlende Berücksichtigung der Empfindlichkeitszonen des Strahles weitere Fehler, vor allem eine radartechnisch bedingte Abnahme der Echofreuenz unterhalb ca. 700 m, zu erwarten waren.

Die von EASTWOOD und RIDER (1966) eingeführte «vertical beam»-Methode brachte eine weitere Verbesserung der Messmethoden, obwohl auch in diesem Fall eine Beschränkung des Messbereiches auf rund 200 bis 2500 m ü. B. in Kauf genommen werden musste. Als möglicher Grund für die relative Seltenheit von Objekten unterhalb 300 m wird von EASTWOOD (1967) die Erholungszeit der SE-Zelle angeführt. Da nichts über eine Berücksichtigung des Strahlungsdiagrammes für die Berechnung der Zugfrequenzen ausgesagt wird, bleibt die Frage offen, ob für die Abnahme der Frequenz unterhalb ca. 600 m nicht zusätzlich die Verringerung der Strahlbreite verantwortlich sein könnte.

Die beste Darstellung über die Höhenverteilung des Zuges wurde von EASTWOOD und RIDER 1965 gegeben. Bei diesen Messungen verwendeten sie jeweils das Bild eines Überwachungsradars für die Auswahl der «angels» und einen mit dem Überwachungsradar gekoppelten Höhensuchradar oder Zielverfolgungsradar für die Höhenmessung. MTI-Vorrichtung ermöglichten auch eine relativ gute Überwachung der bodennahen Bereiche. Die Art der Objektauswahl erlaubte jedoch nur die Angabe von Durchschnittswerten aus längeren Beobachtungsperioden und nicht Angaben über die aktuelle Höhenverteilung des Zuges in aufeinanderfolgenden Nächten; ausserdem wurden bei den relativ grossen Arbeitsdistanzen meist Echos von mehreren Vögeln erfasst und nicht Einzelvogelechos.

Die Verwendung einer ergänzten «vertical beam»-Methode, eine Reichweite des Radargerätes von über 4 km für einzelne Kleinvögel, das geringe Impulsvolumen und die Berechnung der Zugfrequenz mit Hilfe des Strahlungsdiagramms der Antenne dürften in unserem Falle, zumindest im Nachtzug, zu exakten Informationen über die Zahl der Vögel führen, die pro Zeiteinheit eine

senkrecht zur Zugrichtung stehende vertikale Messfläche (bzw. deren Rotationskörper) in einem bestimmten Höhenintervall durchqueren. Fraglich ist lediglich, ob die zeitlich und räumlich eng begrenzten Stichproben repräsentativ für den Ablauf der untersuchten Zugbewegungen sind. Um die Gefahr zufälliger Abweichungen einzelner Messungen zu verringern, fassen wir im Folgenden stets alle Zählungen einer Nacht, bei geringer Zugdichte sogar diejenigen mehrerer Nächte, zusammen und betrachten bei der Beurteilung des Zugverlaufes innerhalb der Nacht Durchschnittswerte mehrerer Beobachtungseinheiten.

4.1.2 *Darstellung von Höhenverteilung und Zugintensität*

In den Diagrammen betreffend Intensität und Höhenverteilung des Zuges werden auf der Ordinate Höhenintervalle von 250 m zusammengefasst; (beim Intervall 0—250 m werden die ersten 50 m ü. B. freigelassen, da im Frühling 1968 die untersten 65 m und im Frühling 1969 die untersten 30 m nicht erfasst werden konnten). Die Zugfrequenzen werden als waagrechte Säulen auf der Abszisse dargestellt; sie sind ein Mass für den Zugerfolg, d. h. für die Zahl der Vögel, die pro Zeiteinheit eine bestimmte Zählfläche durchqueren. (Definition gemäss Kapitel 2.4.3: Anzahl Vögel, die pro Stunde einen Zylinder von 100 m Höhe und 100 m Durchmesser durchqueren). Die Zugdichte wird — ebenfalls auf der Abszisse — für jedes Höhenintervall als Kreis eingezeichnet; sie ist ein Mass für die Zugaktivität, d. h. für die Zahl der in einem bestimmten Luftvolumen fliegenden Vögel unabhängig von ihrer durch Winde erhöhten oder verminderten Zugleistung relativ zum Boden. (Definition gemäss Kapitel 2.4.4: Anzahl Vögel in einem Raum von 2 km² Grundfläche und 250 m Höhe). Zugfrequenzen (und -dichten) $< 0{,}5$ werden mit engen Punktreihen, solche $< 0{,}1$ mit weiten Punktreihen markiert.

Für allgemeine Angaben über die Zugintensität (ohne Höheninformation) benutzen wir die von LOWERY und NEWMAN (1966) eingeführte und von BLOKPOEL (1969b) und GAUTHREAUX (1970) verwendete Grösse der «migration traffic rate». Wir bezeichnen sie als Gesamtdurchzugsrate (GDR) und definieren sie, angepasst an das metrische System, als Anzahl der Vögel, die pro Stunde eine Strecke von 1 km senkrecht zur Hauptzugrichtung überqueren. In Analogie dazu verwenden wir den Begriff der Gesamtdichte (GD), der sich aus der Definition der Zugdichte ergibt und die Anzahl der Vögel über einer Grundfläche von 50 km² bezeichnet.

4.1.3 *Durchschnittliche Höhenverteilung im Tag- und Nachtzug*

Abb. 18 zeigt die durchschnittliche Höhenverteilung des Zuges in den beiden von uns bearbeiteten Frühlingszugperioden. Die Zentralwerte (Mediane) von Frequenz und Dichte lagen im Nachtzug deutlich höher als im Tagzug. In beiden Fällen lagen die gemessenen Maximalhöhen unterhalb 4000 m ü. B. (im Gegensatz zum Herbstzug, in dem oft Höhen bis zu 4500 m ü. B. gemessen werden konnten). Die 90 %-Grenze lag im Nachtzug für Frequenz und Dichte bei ca. 2000 m, die 75 %-Grenze bei 1400 m; 50 % aller Nachtzieher flogen unterhalb 700 m. Der Tagzug wickelte sich zu 50 % unterhalb 400 m ab; zu 75 % unterhalb 800 m. Die 90 %-Grenze und auch die Obergrenze des Zuges lagen bezüglich der Frequenz ähnlich wie im Nachtzug, bezüglich der Dichte jedoch tiefer (90 %-Grenze bei 1500 m).

Dabei ist zu beachten, dass unsere Definitionen für Zugdichte und Zugfrequenz nicht ohne weiteres auf den Tagzug anwendbar sind, da wir im Tagzug

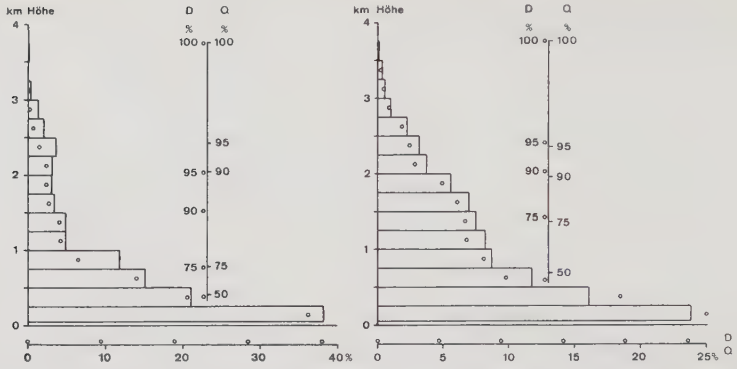


ABB. 18. Mittlere Höhenverteilung der Vögel in zwei Frühlingszugperioden. Links Tagzug, rechts Nachtzug. Auf der Abszisse sind die Zugfrequenzen (Säulen) und die Zugdichten (Kreise) in Prozent der Gesamtfrequenz bzw. -dichte angegeben. Die zusätzliche Skala in der Mitte der beiden Diagramme gibt das Niveau der 50-, 75-, 90- und 95-Prozent-Grenze an (Grenzlinien unterhalb derer sich der entsprechende Anteil des Zuges befindet).

nicht die Echos von Einzelvögeln registrieren, sondern mehrheitlich Schwärme (vgl. Kapitel 3.1.). Die gegenüber dem Nachtzug veränderte Echofrequenz in Bodennähe könnte auf einer Bevorzugung der bodennahen Luftschichten durch Kleingruppen und Einzelvögel beruhen.

Da LACK (1960a) sowie EASTWOOD und RIDER (1965) mit anderen Methoden und mit Radargeräten, die infolge grosser Impulsvolumina auch nachts mehrere Vögel zu «angels» zusammenfassten, zu ähnlichen Ergebnissen kamen, scheint sich die Tendenz zu grösseren Flughöhen im Nachtzug jedoch zu bestätigen. Eine in keinem Fall vollständig eliminierbare Fehlerquelle stellen die tagsüber (meist in Bodennähe) vorbeifliegenden ortsansässigen Vögel dar; ihre Zahl ist schwer abschätzbar, dürfte aber nach unseren visuellen Beobachtungen relativ klein sein.

Im Folgenden sollen die tageszeitlichen und wetterbedingten Abweichungen von dieser mittleren Verteilung dargestellt werden.

4.1.4 *Zeitliche Variation von Höhenverteilung und Zugintensität während der Nacht*

Unsere Nachtbeobachtungen beschränkten sich auf die Zeit zwischen 21.00 Uhr und dem Beginn des Tagzuges; meist wurden drei Messungen (21.00, 00.00 und 03.00 Uhr) durchgeführt. 1969 wurden in mehreren Nächten zusätzliche Stichproben erhoben, um Anhaltspunkte über den zeitlichen Ablauf des Zuges während der Nacht zu erhalten.

Die Resultate aus 10 Nächten mit günstigen Zugverhältnissen (Schönwetterperiode vom 5.—11. April; von SW einströmende Warmluft in der Zeit vom 19.—23. April und in der Nacht vom 24./25. April) dürften trotz den nicht ganz einheitlichen Witterungslagen brauchbare Angaben über den Verlauf von Zughöhe und Zugintensität während Nächten ohne störende Veränderung der Wetterlage vermitteln.

Aus dem Diagramm in Abb. 19 geht in Übereinstimmung mit den Angaben von EASTWOOD und RIDER (1965) hervor, dass in der ersten Hälfte der Nacht

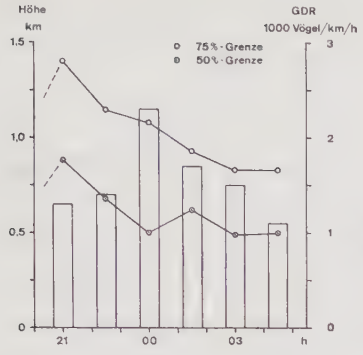


ABB. 19. Vergleich zwischen Zughöhe und Zugfrequenz im Verlauf von 10 Nächten ohne störende Veränderungen der Witterung. Zughöhe angegeben in Form der 75- und 50-Prozent-Grenze (linke Skala); Zugfrequenz als Gesamtdurchzugsrate (GRD; rechte Skala).

grössere Flughöhen bevorzugt werden als nach Mitternacht. Das Ansteigen der Zughöhe während der Aufbruchphase scheint relativ rasch zu erfolgen, so dass bereits eine Stunde nach Sonnenuntergang (in unserem Falle 20.00—20.30 Uhr) das mittlere Zugniveau der betreffenden Nacht erreicht sein dürfte. NISBET (1963) stellte in vergleichbaren Jahreszeiten zwischen 20.00 und 22.00 Uhr einen durchschnittlichen Anstieg der Zughöhe um 10 % fest und — in analoger Weise wie wir — einen leichten Rückgang gegen Mitternacht.

Diskussion: EASTWOOD und RIDER (1965) nehmen an, dass das Ansteigen und Sinken der Zughöhe innerhalb der Nacht positiv mit der Zugintensität korreliert sei. Da in ihren Diagrammen über den tageszeitlichen Verlauf des Zuges 6-Stunden-Intervalle zusammengefasst werden, sind Kurven von ähnlicher Form zu erwarten; über den genaueren Verlauf des Nachtzuges sagen die beiden Diagramme jedoch nichts aus; der Kulminationspunkt liegt im einen Fall vor und im anderen Fall nach Mitternacht. Auch die Kurve von TEDD und LACK (1958) fasst 4-Stunden-Intervalle zusammen und gibt deshalb keine Auskunft über den Verlauf des Zuges im uns interessierenden Abschnitt. EASTWOOD gibt 1967 eine Kurve betreffend den Intensitätsverlauf des Frühlingszuges während der Nacht, die ziemlich genau mit den in unserer Abb. 19 dargestellten Messungen übereinstimmt. BLOKPOEL (1969a) zeigt einen analogen Verlauf für den Herbstzug in Cold Lake, Kanada. Unsere eigenen Herbstbeobachtungen, wie auch die Angaben von SUTTER (1957b und 1961), HARPER (1958), GRABER und HASSLER (1962), HASSLER et al. (1963), GRABER (1968) und EASTWOOD (1967) zeigen ein Schwergewicht des Nachtzuges in der ersten Nachthälfte. Im Herbst scheint deshalb ein analoger Verlauf von Zughöhe und Zugintensität möglich; in den hier bearbeiteten Fällen aus dem Frühlingszug fällt jedoch der stärkste Rückgang der Zughöhe in einen Zeitraum mit steigender Zugfrequenz, was zumindest andeuten dürfte, dass die Koinzidenz von maximaler Zughöhe und höchster Zugintensität im Verlaufe der Nacht keine notwendige Erscheinung ist und nicht auf einem unmittelbaren Zusammenhang beruht.

Die Ermittlung einer abnehmenden Zughöhe in der zweiten Hälfte der Nacht steht in einem gewissen Widerspruch zu den Berechnungen von PENNYCUICK (1969), der postulierte, dass die optimale Flughöhe im Verlauf eines Langstreckenfluges aufgrund des mit dem Fettverbrauch abnehmenden Gewichtes zunehmen müsse. Unsere Messresultate deuten auf zusätzliche, die Zughöhe beeinflussende Erscheinungen: So wäre es z. B. möglich, dass die Vögel sich nicht an die progres-

siv steigende Optimalflughöhe halten und stattdessen die Geschwindigkeit senken oder aber, dass bereits wenige Stunden nach Zugbeginn einzelne Vögel wieder zur Landung ansetzen, dass diese Tendenz im Verlaufe der Nacht zunimmt und so eine sukzessive Senkung der Zughöhe bewirkt. COCHRAN et al. (1967) haben mit ihrer Radio-Verfolgung von *Hylocichla*-Arten gezeigt, dass einzelne Zugvögel wirklich während der Nacht landen. Auch unsere vorläufigen Untersuchungen anhand von Flügelschlagmustern bestärken uns in der Vermutung, dass neben den typischen Langstreckenziehern mit grössten Flugleistungen pro Nacht Arten vorkommen, die ihren Zug bereits in der ersten Hälfte der Nacht einstellen können, neben anderen, die erst im Verlaufe der Nacht zu starten scheinen. Die Frage, ob die Flughöhe einer einzelnen Art mit abnehmendem Gewicht zunimmt (oder ob ihre Eigengeschwindigkeit abnimmt), lässt sich nur beantworten, wenn eine grosse Zahl von Individuen derselben Art im Verlaufe der Nacht beobachtet werden kann. Innerhalb unseres bisherigen Arbeitsprogrammes konnten aber auch von den häufigsten Echoarten selten mehr als 20 Exemplare pro Nacht verfolgt werden, so dass die hiermit aufgeworfene Frage für eine spätere Bearbeitung offen bleiben muss.

4.1.5 *Beziehung zwischen Zughöhe und Zugintensität*

Obwohl im zeitlichen Ablauf des Nachtzuges im Frühling keine Korrelation zwischen Zughöhe und Zugfrequenz festgestellt werden konnte, scheinen die Schwankungen der Zughöhe von Tag zu Tag doch oft mit Veränderungen der Zugintensität zu koinzidieren.

Ein kausaler Zusammenhang zwischen den beiden Parametern wäre denkbar, wenn das Erreichen einer bestimmten Höchstkonzentration von Individuen pro Luftvolumen zu einer Ausweichbewegung in höhere Schichten führen würde. Koinzidenz wäre zu erwarten, wenn günstige Flugbedingungen in allen Höhenlagen regelmässig auch günstigste Zugsituationen darstellen und ungünstige Flugbedingungen sich primär auf die höheren Schichten auswirken würden.

Die graphische Darstellung der Zentralwerte der Flughöhe in Funktion der entsprechenden Gesamtdurchzugsraten zeigt einen gewissen Zusammenhang zwischen den beiden Grössen (Abb. 20). Die statistische Prüfung der Abhängigkeit der 90 %-Grenzen und Zentralwerte der Flughöhe von den zugehörigen Gesamtdurchzugsraten ergab jedoch in beiden Fällen nur intermediäre Beziehungen (Korrelationskoeffizienten $r = 0{,}41$, bzw. $r = 5{,}0$). Die niedrigen Korrelationskoeffizienten und insbesondere die beiden in Abb. 20 mit Pfeilen bezeichneten Werte mit sehr hoher Zugintensität bei geringster Zughöhe deuten an, dass kaum mit einer kausalen Abhängigkeit im oben angeführten Sinne zu rechnen ist und dass auch die Koinzidenz unter bestimmten Witterungsbedingungen (z. B. Frontnähe) völlig verschwinden kann (vgl. auch Abb. 23f).

4.1.6 *Die Optimalflughöhe*

Die biologischen Vorteile einer möglichst grossen Zughöhe für ziehende Vögel sind von PENNYCUICK (1969) erörtert und mathematisch belegt worden. Sie beruhen primär auf der Abnahme von Luftdichte und -widerstand mit der Höhe. Eine Steigerung der Flughöhe ermöglicht bei gleichem Kraftaufwand grössere Fluggeschwindigkeiten, d. h. eine bestimmte Reisestrecke kann bei gleichem Gesamtenergieverbrauch in kürzerer Zeit zurückgelegt werden (vgl. Kapitel

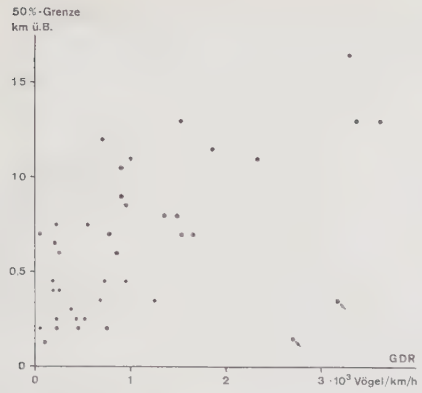


ABB. 20. Vergleich zwischen Zughöhe und Zugfrequenz. Zentralwerte der Zughöhe aufgetragen als Funktion der Gesamtdurchzugsrate. Die beiden mit Pfeilen bezeichneten Werte (mit geringer Zughöhe bei sehr hoher Zugfrequenz) zeigen, dass trotz einer gewissen Tendenz zur Korrelation eher mit einer häufigen Koinzidenz als mit einem Zusammenhang zwischen den beiden Parametern zu rechnen ist.

3.2.1). Hohe Fluggeschwindigkeiten werden von ungünstigen Winden relativ weniger beeinflusst als niedrige Geschwindigkeiten.

Die Abnahme der Luftdichte erfordert andererseits eine höhere momentane Leistung und damit einen erhöhten Sauerstoffverbrauch. Da mit dem Luftdruck auch der Sauerstoffdruck abnimmt, tritt bei einem aufsteigenden Vogel — ähnlich wie bei einem Motorflugzeug — der Moment ein, in dem nicht mehr genügend Sauerstoff aufgenommen werden kann, um die Fluggeschwindigkeit weiter zu steigern. Dies ist die — vermutlich für jede Art verschiedene — Optimalflughöhe. Sie dürfte nach unseren Beobachtungen (Kapitel 3.2.1) für rasche Flieger höher liegen als für langsame Flieger. Zugsituationen mit hohem Anteil an Limicolen und Wasservögeln lassen deshalb grössere Flughöhen erwarten als Situationen mit reinem Singvogelzug.

Der zweite zughöhebestimmende Faktor ist wahrscheinlich die Temperatur, die pro km Höhe durchschnittlich um 6,5° abnimmt und damit eine ideale Möglichkeit der Regulation von Wasser- und Wärmehaushalt ermöglicht. Die konvektive Wärmeabgabe, die nach ELIASSEN (1962) sowie nach HART und BERGER (1970) den Hauptanteil der Gesamtwärmeabgabe ausmacht, wird durch niedrige Umgebungstemperaturen erleichtert, während die Wasserverluste durch die Haut erheblich gesenkt werden können. Da bei extrem tiefen Temperaturen die Wärmeproduktion nicht zunimmt, ist entweder ein optimaler Regulationsmechanismus im Vogel selbst zu postulieren (HART und BERGER im Druck) oder (evtl. zusätzlich) eine Limitierung der arttypischen Optimalflughöhe durch den Temperaturverlauf in der Atmosphäre.

Innerhalb der Grenzen, die jeder Vogelart entsprechend ihren aerodynamischen und physiologischen Eigenschaften durch Luftdichte, Sauerstoffdruck und Temperatur gesetzt sind, wird die Zughöhe durch sekundäre Faktoren beeinflusst. Es sind in erster Linie meteorologische Erscheinungen wie Wind, Nebel, Bewölkung, Niederschlag sowie Veränderungen der Gesamtwitterungslage, die entweder Verschiebungen in der Artenzusammensetzung des Zuges oder aber Veränderungen der maximalen oder durchschnittlichen Flughöhe eines Artenkollektivs mit sich bringen können.

4.1.7 *Beeinflussung der Zughöhe durch Umweltfaktoren*

Eine Änderung der Artenzusammensetzung des Zuges können wir vorläufig nicht beurteilen, da die Zahl der pro Nacht vorhandenen Echosignaturen nicht für

eine solche Aussage reicht. Wir beschränken uns deshalb auf das Studium der Höhenveränderungen im Gesamtzug.

Eine weitere Einschränkung ergab sich aus der Einsicht, dass die verschiedenartigen Veränderungen der Zughöhe und der Witterungselemente, wie sie in den Diagrammen der Abb. 22 zum Ausdruck kommen, in der Regel nicht durch einzelne, statistisch verwendbare Parameter charakterisierbar sind: Nie wirkt z. B. die Windrichtung allein, stets muss auch die Stärke des Windes berücksichtigt werden; beide können sich mit der Höhe verändern; die Wolkendecke kann sich aus wechselnden Anteilen hoher, niedriger und mittlerer Bewölkung zusammensetzen — die Beispiele liessen sich beliebig vermehren. Eine statistische Bearbeitung müsste notwendig zur Zusammenfassung heterogener Klassen und deshalb im Normalfall zu negativen Ergebnissen führen, besonders da in vielen Fällen die Wirkung eines Faktors durch den Einfluss anderer (zufällig stärker wirkender) Faktoren überdeckt wird. Wir gehen deshalb im Folgenden nur auf ganz wenige statistische Korrelationen relativ gut definierbarer Parameter ein und versuchen im übrigen — entsprechend einer experimentellen Versuchsanordnung — den Einfluss einzelner Faktoren bei möglichst konstanten Bedingungen bezüglich der übrigen Faktoren zu studieren, indem wir bestimmte Beobachtungstage auswählen und vergleichen.

4.1.7.1. Die Zughöhe und ihre Beziehung zu Luftdruckveränderungen und Witterungsablauf

Da der Luftdruck ein wesentliches Kriterium für die Wahl der Flughöhe ist, stellt sich die Frage, wie sehr die Flughöhe durch die Veränderungen der Druckverteilung in Hochdruck- und Tiefdruckgebieten beeinflusst werden könnte. Flächen gleichen Druckes in der Atmosphäre werden bei Druckanstiegen gehoben und liegen tief bei niedrigem Luftdruck. In unseren Beobachtungsperioden lagen die Maximalhöhen von 700 mb- und 850 mb-Flächen rund 300 m über ihren Minimalhöhen; die Extremwerte des Bodendruckes differierten um 36 mb, was ebenfalls Höhenveränderungen in der Grössenordnung von 300 m bewirken könnte. Eine Korrelation mit den gleichzeitigen Veränderungen der Zughöhe konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Die aufgrund anderer Faktoren auftretenden Veränderungen erstrecken sich offenbar über viel grössere Höhenbereiche und überdecken die relativ geringen, aufgrund der Luftdruckvariationen zu erwartenden Höhenverschiebungen.

Allgemein scheinen die in stabilen Schönwetterlagen auftretenden Faktorenkombinationen eher grosse Flughöhen zu ermöglichen, während in der Nähe von Störungszonen regelmässig ein Absinken der Zugobergrenze festgestellt werden kann (vgl. Abb. 22).

4.1.7.2 Zughöhe und 0°-Isotherme

EASTWOOD und RIDER (1965) geben ein Beispiel, in dem die 0°-Grenze in der Atmosphäre mit der Obergrenze des Zuges zusammenfiel. EASTWOOD greift dasselbe Beispiel auch 1967 wieder auf: Er hält es für möglich, dass die Vögel bis zu einer Null-Grad-Schicht aufsteigen, aber davor zurückschrecken, diese «Limite» zu überschreiten. Dass diesem «ceiling»-Effekt der 0°-Grenze kein zwingender Charakter zukommt, ergibt sich bereits aus der Tatsache, dass starke Zugbewegungen bei Bodentemperaturen von 0° vorkommen. BLOKPOEL (1970b)

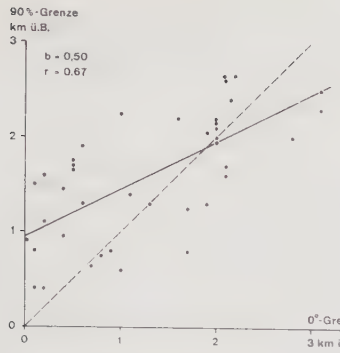


Abb. 21. Korrelation zwischen der Höhe der 0°-Grenze und der 90-Prozent-Grenze des Zuges. Die gestrichelte Linie, mit einer Neigung von 45°, trennt die Fälle, in denen die 90-Prozent-Grenze höher lag als die 0°-Grenze (oberhalb der Linie) von denjenigen mit tiefer liegender 90-Prozent-Grenze (unterhalb der Linie). Die Korrelation ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % knapp gesichert.

gibt zwei Beispiele, bei denen auch hoch liegende 0°-Grenzen von 10—20 % der Zugvögel überflogen wurden.

Innerhalb unserer eigenen Beobachtungen lag die 0°-Grenze nur in 3 Fällen (von 40 Nächten mit bestimmbarer Zugdichte) höher als die Obergrenze des Zuges. Die höchsten Zugvögel flogen meist mehrere 100 m über der 0°-Grenze, häufig in Temperaturschichten von −10° bis −15° C. Aus Abb. 21 geht hervor, dass in 27 (von 40) Fällen mindestens 10 % der Vögel über der 0°-Linie flogen. Auch bei relativ feuchter Atmosphäre, d. h. unter Bedingungen, in denen die 0°-Grenze durch Eiskristalle zu einer konkreten Grenzlinie werden könnte, ist sie nach unseren Beobachtungen keine unüberwindbare Limite (vgl. Abb. 22 i, k, l). Immerhin sind auch in unserem Material Beispiele vorhanden, in denen (sogar bei trockener Atmosphäre) auf dem Niveau der 0°-Isotherme ein Rückgang der Zugfrequenz (Abb. 22 d, i), in einem Fall (Abb. 22a) sogar eine Konzentration unmittelbar unter dieser — nach unserer Vorstellung doch eher fiktiven — Linie feststellbar war. Beispiel 22 h zeigt (bei sehr tief liegender 0°-Grenze) einerseits ein Aufsteigen der höchsten Zugvögel bis auf das Niveau von −15°, andererseits — unter vergleichbaren Bedingungen wie in den Beispielen 22 d, e, f (mit hohem 0°-Niveau) — eine deutlich geringere Zughöhe, trotz einer mit der Höhe an Stärke zunehmenden Rückenwindkomponente.

Die letzten Beispiele belegen erneut, dass eine 0°-Schicht keinesfalls die Obergrenze des Zuges bestimmt; sie lassen aber einen anderen, mehr graduellen Zusammenhang zwischen Temperaturverlauf und Zugobergrenze erahnen: Die Höhe von 0°-Grenze und 90 %-Grenze des Zuges sind positiv korreliert (Korrelationskoeffizient r = 0,67; Regressionskoeffizient b = 0,50; vgl. Abb. 21). Man kann sich vorstellen, dass Temperaturen zwischen 0° und −10° für einen grossen Teil der Zugvögel bereits relativ hohe Anforderungen an die Thermoregulation stellen, so dass sie auf die Zunahme der Flughöhe hemmend wirken. Es wäre somit ein kausaler Zusammenhang zwischen Zugobergrenze und Temperaturverlauf in der Atmosphäre denkbar, ohne dass dabei eine bestimmte Schicht mit limitierender Wirkung vorhanden sein müsste.

Die Verteilung des Zuges in den unteren Schichten scheint durch andere Faktoren stärker beeinflusst zu werden. Jedenfalls lassen Zentral- und Mittelwert der Zughöhe nur eine sehr schwache Abhängigkeit von der Höhe der 0°-Grenze erkennen.

Zwei Möglichkeiten eines zufälligen Zusammentreffens von hohem 0°-Niveau und hoher Zugobergrenze müssen beachtet und an anderem Material, vor allem an

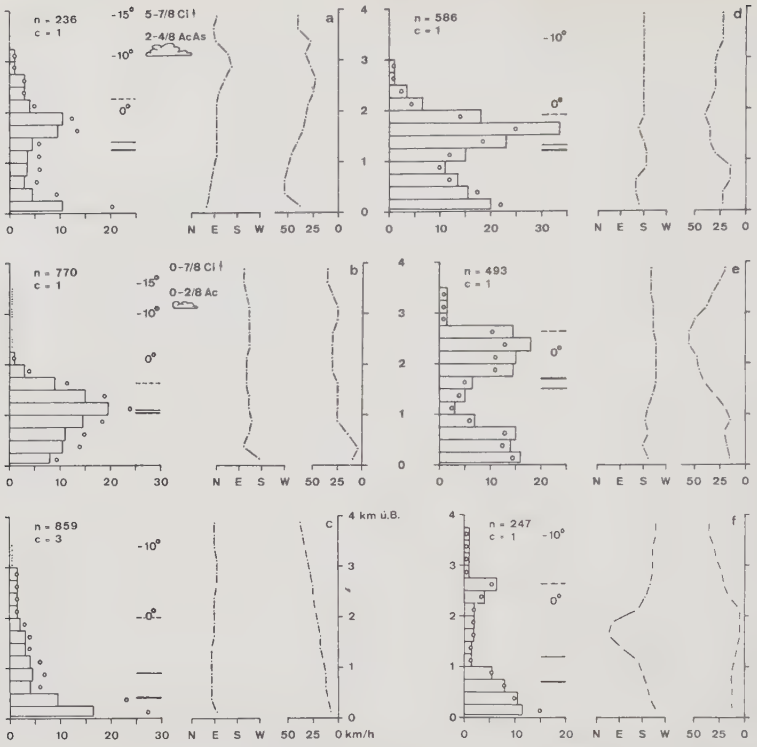


Abb. 22. Die 11 Diagramme veranschaulichen für einzelne Nächte oder für mehrere Nächte mit analogen Verhältnissen: (von links nach rechts) 1. Die Höhenverteilung des Zuges; Zugfrequenz (Säulen) und Zugdichte (Kreise) in absoluten Zahlen auf der Abzisse (gemäss Definition in Kap. 4. 1. 2); 2. Die Höhe der 50-Prozent-Grenze (—), der 75-Prozent-Grenze (—) und der 95-Prozent-Grenze (- - -). In der gleichen Kolonne ist mit den entsprechenden Zahlen das Niveau der 0°, — 10° und — 15°-Schicht in der Atmosphäre angegeben; 3. Basis und ungefähre Höhenausdehnung der verschiedenen Wolkenschichten in zeichnerischer Darstellung; Bedeckungsgrad der einzelnen Wolkengattungen in Achteln (wenn vorhanden); 4. Mittlere Windrichtung (Herkunftsrichtung) in der betreffenden Nacht (bzw. den betr. Nächten); 5. Mittlere Windgeschwindigkeit auf den verschiedenen Niveaus in km/h. — Die Ordinate entspricht in allen Einzeldarstellungen der Höhe von 0—4 km über Boden, c gibt die Anzahl der zusammengefassten Nächte, n ist die Zahl der berücksichtigten Echos.

Herbstzugmaterial, überprüft werden: 1. Eine Erwärmung der Atmosphäre bis in grosse Höhen könnte im Frühling eine zugstimulierende Wirkung haben, so dass das Ansteigen der Zughöhe lediglich als sekundärer Effekt eines breiten Artenspektrums verstanden werden könnte. 2. Starke Erwärmungen sind oft die Folge starker Insolation unter antizyklonischen Bedingungen. Das Fehlen von meteorologischen Störungszonen könnte deshalb primär für die grossen Flughöhen verantwortlich sein.

4.1.7.3 Wirkung von Bewölkung und Niederschlägen

Sutter (1957a), Gehring (1963) und Steidinger (1968) zeigten, dass im Herbstzug über dem Schweizerischen Mittelland Schichten von Bodennebel meist

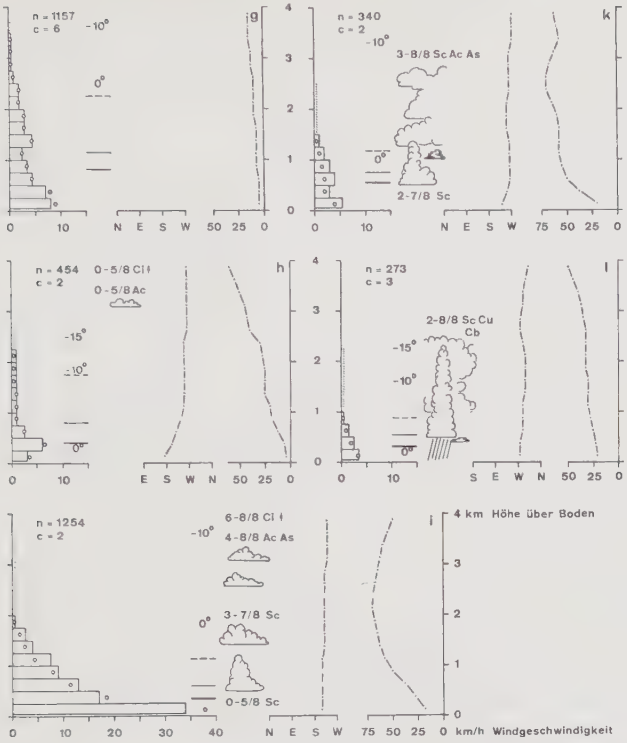


ABB. 22. (Fortsetzung). Legende auf der Seite nebenan.

überflogen werden und dass bei Hochnebel oft eine Konzentration von Vögeln unmittelbar unter und über der Nebeldecke und eine geringe Zahl von Vögeln im Nebel festzustellen sind. Diese Beobachtungen dürften sich mit den Beobachtungen von BELLROSE und GRABER (1963), EASTWOOD und RIDER (1965) sowie BELLROSE (1967) decken, die eine Tendenz zu grösseren Flughöhen bei bedecktem Himmel ermittelten. Diese Autoren nehmen an, dass die Vögel eine geschlossene Wolkendecke zu überfliegen suchen und dies auch tun, wenn die Wolkenschicht nicht zu hoch liegt. Die Ergebnisse aus England und den USA enthalten keine Angaben über die Art der Wolken oder über die allgemeine Wetterlage; wir nehmen jedoch an, dass es sich bei den Situationen mit bedecktem Himmel und starkem Zug mehrheitlich um ungestörte Wetterlagen mit hohen Stratusschichten handelte — ähnlich wie bei den Beobachtungen in der Schweiz.

Eine Untersuchung von Zughöhe und Wolkendecke im Sinne der einleitend genannten Autoren, die Situationen mit klarem Himmel einerseits und vollständiger Wolkenbedeckung andererseits verglichen, ist in unseren Gegenden nur im Herbst sinnvoll, wenn unter antizyklonischen Bedingungen sowohl wolkenlose Nächte als auch Nächte mit ausgedehnten Hochnebeldecken vorkommen. Im Frühling entstehen geschlossene Wolkendecken meist nur im Bereich von Störungszonen, wo jede Änderung der Zughöhe auch auf andere Wetterelemente zurück-

geführt werden kann und der Zug zudem oft infolge der Niederschläge schwach oder unregelmässig ist.

Wenn wir im Folgenden die Zusammenhänge zwischen der Zughöhe und der Basis unterbrochener Wolkenschichten analysieren, so müssen wir uns bewusst sein, dass die hier betrachteten Wolken Begleiterscheinungen anderer Veränderungen in der Atmosphäre sind, die unter Umständen für die Vögel ebenso bedeutungsvoll sein können wie die Wolken selbst.

Die Beispiele Abb. 22 a—g zeigen, dass bei klarem Himmel und hoch liegender 0°-Grenze unter verschiedensten Windbedingungen (in der Höhe z .T. Gegenwind bis zu 25 km/h) die Obergrenze des Zuges regelmässig über 3000 m liegt. Bei tiefliegender 0°-Grenze kann die Obergrenze des Zuges auch ohne den Einfluss von Wolken deutlich absinken (wobei im Beispiel 22 h auch die Nähe von Störungszonen eine gewisse Wirkung haben könnte). Starke Bewölkung (total 7—8/8) mit je 2—6/8 niederer, mittlerer und hoher Bewölkung im Beispiel Abb. 22 i (Warmsektoren, Warmfrontrand) verhindert das Aufsteigen der Vögel nicht, doch wird der in Bodennähe höchst intensive Zug jeweils im Bereich einer Wolkenschicht unregelmässig und deshalb im Durchschnitt weniger dicht; die Vögel scheinen in Wolkenlücken zu ziehen, wie dies bei genügender Tropfengrösse zuweilen unmittelbar auf dem Radarschirm festgestellt werden kann und wie es W. THÖNEN (pers. Mitt.) auf dem Col de Bretolet (Walliser Alpen) visuell beobachten konnte. In wenig aktivem Rückseitenwetter liegen die Verhältnisse ähnlich, wobei aber der starke Zug in Bodennähe fehlt (vgl. Abb. 22 k). Verstärkte Schauertätigkeit (oder Regen) hat ein weiteres Absinken des Zuges zur Folge (Abb. 22 l). In unmittelbarer Nähe von Regenschauern fliegen nur relativ wenige Vögel, obwohl in den Lücken zwischen den Regen- oder Wolkenfeldern lokal relativ hohe Zugdichten auftreten können und einzelne Echos bis in Wolken- oder Regengebiete hinein verfolgt werden können (vgl. dazu COCHRAN et al. 1967 und GRIFFIN im Druck). Im allgemeinen scheint Zug in Wolken- oder Nebelschichten eher selten, wie dies bereits aus den Arbeiten von SUTTER (1957a), GEHRING (1963) und STEIDINGER (1968) hervorgeht. Im Beispiel Abb. 22 b werden, unter sonst vergleichbaren Bedingungen wie in den Beispielen Abb. 22 d—e, die bodennahen Luftschichten gemieden. Wir sehen einen möglichen Grund dafür in einer starken Dunstschicht (Sichtweite um 21 Uhr 10 km), in der sich ab 22 Uhr Nebelbänke bildeten, die sich um 03 Uhr zu einer Nebelschicht verdichteten (Sichtweite horizontal 110 m, vertikal 25 m).

Weder die Altostratus- und Nimbostratusdecken von Warmfronten noch die Stratocumuli im Rückseitenbereich von Zyklonen scheinen in ihrer Wirkung den aus dem Herbstzug bekannten Hochnebeldecken zu entsprechen. Frontbewölkung ist in der Regel von einem Absinken der Zughöhe begleitet, ohne dass bis dahin Konzentrationen unter der Wolkenbasis beobachtet werden konnten. Ein Aufsteigen von Vögeln über einzelne Wolkenbänke konnte im Tagzug durch optische Beobachtungen automatisch verfolgter Vögel bestätigt werden, dürfte aber bei Frontbewölkung nicht zu Konzentrationen auf einem bestimmten Niveau führen, da die Wolkenobergrenze viel weniger konstant ist als bei Hochnebeldecken. Allgemein dürften die Flugbedingungen im Bereiche von Frontbewölkung infolge unregelmässiger Aufwinde ungünstiger sein als in der stabilen Atmosphäre unter oder über einer Hochnebeldecke. Regen scheint primär ein Absinken der Zughöhe oder ein horizontales Ausweichen (vgl. LACK 1963a und EASTWOOD 1967) zu bewirken, über Land vermutlich verbunden mit einer vermehrten Bereitschaft

zur Landung. Über dem Meer sinken die Vögel nach Beobachtungen von PARSLOW (zit. in EASTWOOD 1967) auf der Vorderseite von Regengebieten langsam ab; auf der Leeseite der Regengebiete flogen sie unter dem Radarbereich und stiegen erst nach mehreren Kilometern wieder in den Radarbereich auf.

4.1.7.4 Einfluss von Stärke und Richtung des Windes auf die Zughöhe

Die alte, durch viele Einzelbeobachtungen belegte Hypothese, dass der Zug bei Rückenwind höher erfolge als bei Gegenwind, wurde von BELLROSE und GRABER (1963) und von EASTWOOD und RIDER (1965) aufgrund von statistischen Befunden abgelehnt. Wir versuchen dieses Problem neu anzugehen, weil wir der Ansicht sind, dass die bisherige Fragestellung zu einfach und ihre Bearbeitung mit Hilfe statistischer Methoden fehl am Platze war. Eine statistische Gegenüberstellung von Gegenwind- und Rückenwindsituationen ohne Berücksichtigung der Witterungslage sowie der Zugdichte- und Windänderungen mit der Höhe muss umso sicherer zu einer Verwerfung der Hypothese führen, je grösser und vielseitiger das verfügbare statistische Material ist.

Einige Beispiele aus Abb. 22 mögen dies belegen: Werden die beiden Gegenwindsituationen Abb. 22 a und c zusammengefasst, so ist kaum ein Windeinfluss erkennbar, besonders wenn zur Charakterisierung der Zughöhe irgendein einzelner Parameter wie Mittelwert, Zentralwert oder 90 %-Grenze verwendet wird. Ein ähnlicher Effekt würde erreicht, wenn die schöne Sukzession von Veränderungen der Zughöhe durch verschiedene Geschwindigkeiten des Rückenwindes (Abb. 22 d—f) zusammengefasst und etwa noch mit den in Abb. 22 i dargestellten Fällen von Rückenwind in Warmfrontnähe aufsummiert würde.

Offensichtlich ist die Ausrichtung der Zughöhe nach dem Windeinfluss viel differenzierter als es mit einer mittleren Stärke und Richtung des Windes und einer mittleren Zughöhe ausgedrückt werden könnte. Zudem können andere Faktoren die Zughöhe stärker beeinflussen als der Wind. Bei Bodennebel kann der Zug trotz starkem Seitenwind hoch sein (vgl. Beispiel Abb. 22 b); in der Nähe von Frontsystemen, insbesondere im Bereich von Niederschlagsgebieten ist der Zug niedrig, auch wenn Rückenwind herrscht (Beispiele Abb. 22 i—l).

Unsere Aufmerksamkeit muss deshalb vor allem den Fällen gelten, in denen die Wirkung anderer Faktoren möglichst gering ist (hohe 0°-Grenze, keine nennenswerte Bewölkung, keine Frontsysteme in der Nähe des Beobachtungsgebietes): Es sind dies zentrale Gebiete ausgedehnter Warmsektoren und Witterungslagen mit vorwiegend antizyklonischem Charakter ohne Nebel oder Hochnebel. Wir betrachten im Folgenden die Beispiele Abb. 22 a und c—g.

Nr. 22 g enthält sechs Nächte mit sehr geringer Strömung aus wechselnder Richtung, bei praktisch fehlender Bewölkung und hoher 0°-Grenze. Die Höhenverteilung des Zuges zeigt gegenüber der mittleren Verteilung (Abb. 18 b) geringere Zugdichten in Bodennähe und damit eine höhere Lage von Mittelwert, Zentralwert und 90 %-Grenze. Bei mit der Höhe gleichmässig zunehmendem Gegenwind (Abb. 22 c) liegen die entsprechenden Messwerte der Zughöhe tiefer als in der mittleren Verteilung. (Man beachte an dieser Stelle noch einmal, dass in den Fällen Abb. 22 i—l sämtliche Messwerte trotz Rückenwind wesentlich tiefer liegen als in den hier angeführten Fällen mit Gegenwind!) Bei der Gegenwindsituation Abb. 22 a erinnert der Verlauf von Zugverteilung und Windstärke mit der Höhe nahezu an eine Gussform und das gegossene Stück (schwächster Zug auf der Höhe mit stärkstem Wind, höchste Zugdichte auf den Höhen mit

geringsten Windstärken). Die umgekehrte Situation stellen wir bei Rückenwind fest, wo die grössten Zugdichten jeweils auf dem Niveau mit stärkstem Wind liegen (vgl. Abb. 22 d—f).

Damit kommen wir zurück auf die alte Hypothese betreffend die Windabhängigkeit der Zughöhe und formulieren sie nun etwas differenzierter wie folgt: «Da die Winde unter normalen topographischen Bedingungen durchschnittlich mit der Höhe zunehmen, sind in einem genügend grossen Material von Zugsituationen, die nicht durch den Einfluss von Frontsystemen, Nebel oder Bewölkung gestört sind, bei Rückenwind deutlich grössere Zughöhen zu erwarten als bei Gegenwind.»

4.1.8 *Diskussion*

Die starken Veränderungen der Flughöhe ziehender Vögel durch äussere Einflüsse zeigen, dass nur ein sehr grosses Material, in dem die Wettereinflüsse den mehrjährigen Mittelwerten der betreffenden Gegend und Jahreszeit entsprechen, ein allgemeingültiges Verteilungsdiagramm ergeben würde. Die relativ langen Schönwetterperioden innerhalb unserer Beobachtungsperioden lassen es als möglich erscheinen, dass die mittlere Zughöhe in unseren Diagrammen (Abb. 18) etwas zu hoch liegt, obwohl (infolge des geringen Limicolen- und Wasservogelanteils?) keine extrem hohen Einzelmessungen vorliegen. Auch mehrjährige Mittelwerte könnten jedoch in der Schweiz etwas grössere Zughöhen ergeben als es den von EASTWOOD und RIDER (1965) festgestellten Verteilungen entsprechen würde, da England den Tiefdruckzentren (mit geringen Flughöhen) in den meisten Fällen näher liegt als die Schweiz. Eine zusätzliche Steigerung der mittleren Flughöhe wäre — besonders im Frühling — denkbar infolge der Nähe von Gebirgszügen. Zumindest ein Teil der Vögel hat vor der Registrierung an unserem Beobachtungsort in einer Entfernung von 100 bis 200 km die Alpen oder den Jura überquert und dabei mittlere Kamm- und Gipfelhöhen von 3000 bzw. 1500 m ü. M. traversiert. Neue Informationen über das Absteigen und Aufsteigen von Nachtziehern am Rande von Gebirgszügen sind notwendig, um die Wirkung dieses Einflusses abschätzen zu können.

4.2 *Zugintensität und Witterungsablauf*

4.2.1 *Beobachtungen*

Bei der Beurteilung der Zusammenhänge zwischen Wetter und Zugintensität gilt in vermehrtem Masse, was wir bereits bei der Flughöhe betonten: Die Veränderungen einzelner Wetterelemente sind meist im Rahmen von Witterungsabläufen miteinander verbunden; sie sind weder an sich unabhängige Variable, noch dürften sie die Zugintensität unabhängig voneinander beeinflussen. Die zeitliche Folge und das Ausmass ihrer Veränderung sind von Fall zu Fall verschieden. Ein grosses Datenmaterial, differenzierte Fragestellungen, die bereits auf relativ guten Kenntnissen der ablaufenden Vorgänge basieren müssten, und entsprechende Möglichkeiten der statistischen Bearbeitung sind unerlässliche Voraussetzungen, um die Wirkung einzelner Faktoren oder Faktorenkombinationen gegeneinander abwägen zu können. Da diese Voraussetzungen in unserem Falle in wesentlichen Punkten nicht erfüllt sind, verzichten wir auf den Versuch einer Faktorenanalyse mit Hilfe multipler Regressionen.

Ohne auf einzelne Wetterelemente einzugehen, versuchen wir im Folgenden einen allgemeinen Überblick zu gewinnen über die gleichzeitig mit bestimmten

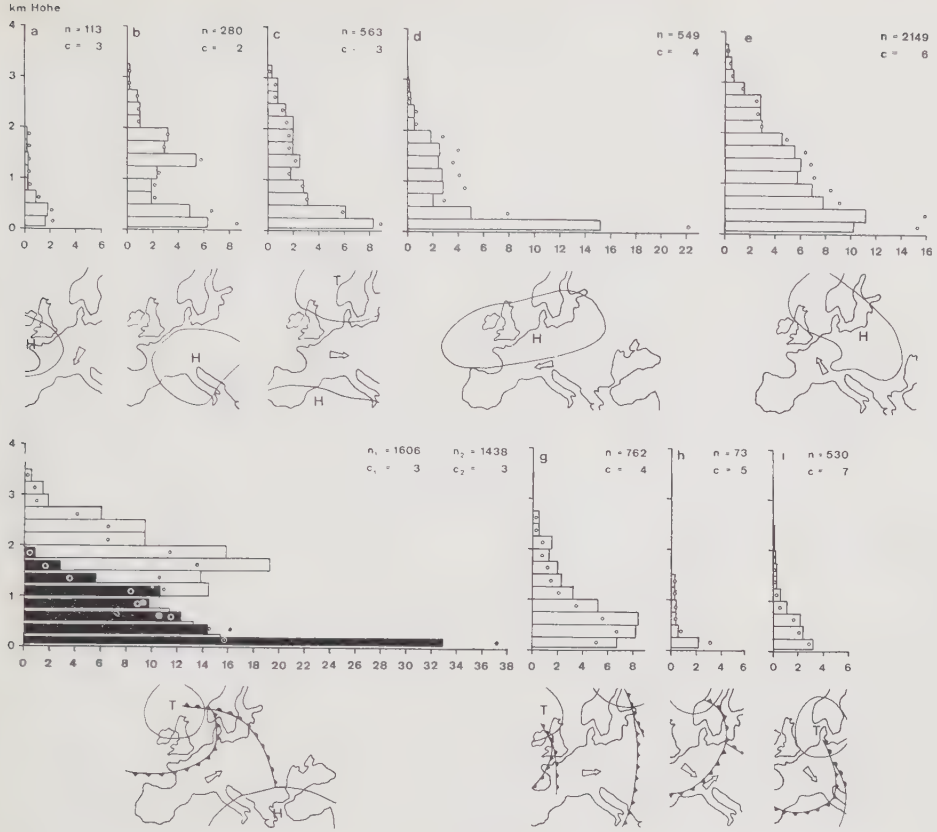


ABB. 23. Zughöhe und Zugintensität (dargestellt wie in Abb. 22 gemäss Definitionen in Kapitel 4. 1. 2) bei 9 verschiedenen Witterungslagen (a—i, vgl. Kapitel 4. 2. 1). c bezeichnet die Anzahl der in einem Diagramm zusammengefassten Nächte, n die Anzahl der berücksichtigten Echos. Unter jedem Zugdiagramm ist die zugehörige Witterungslage mit der vorherrschenden Windrichtung schematisch skizziert. Diagramm f (zweite Reihe, links) enthält je 3 Warmsektorsituationen in Frontnähe (schwarze Säulen) und fern von den Frontsystemen (weisse Säulen).

Witterungsabläufen beobachteten Zugbewegungen in zwei Frühlingszugperioden. Die synoptische Betrachtungsweise ist nach unserer Ansicht die den biometeorologischen Zusammenhängen adaequateste Methode und bietet zudem bedeutende praktische Vorteile:

1. Zufälligkeiten lokaler Wetterbeobachtungen sind durch das weiträumige Netz von Beobachtungsstationen ausgeschlossen.
2. Die auf einer grossen Erfahrung innerhalb der Meteorologie beruhende Zusammenfassung von synoptischen Wettermeldungen in Wetterkarten stellt bereits eine ausgewogene Verarbeitung des meteorologischen Datenmaterials dar.
3. Die synoptischen Wetterkarten erlauben die Bildung einer relativ geringen Zahl von Witterungsklassen und damit den Vergleich mit einer relativ kleinen Zahl von biologischen Daten.

Unsere Einteilung der beobachteten Witterungsabläufe beruht auf detaillierten Analysen unseres meteorologischen Mitarbeiters, Herrn URFER, der sich seinerseits auf das Datenmaterial der Flugwetterzentrale Kloten stützen konnte, sowie auf den Wetterkarten der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt und den Täglichen Wetterberichten des Deutschen Wetterdienstes. Folgende neun Klassen schienen für die Beschreibung der Witterungsabläufe in unseren Beobachtungsperioden notwendig und sind in Abb. 23 unter den einzelnen Zugdiagrammen schematisch dargestellt:

a) Ostseite von Hochdruckgebieten (mit kalten, nördlichen Winden).
b) Zentrale Teile von Hochdruckgebieten (mit schwachen, variablen Winden).
c) Flachdrucklagen mit antizyklonischem Charakter (Winde schwach, in den betrachteten Fällen vorwiegend aus Sektor W—SW).
d) Südliche Teile von Hochdruckgebieten (NE- bis E-Winde, z. T. leichter Föhn in den Alpen).
e) W- bis SW-Seite von Antizyklonen (E- bis SE-Winde, häufig Föhn in den Alpen).
f) Warmsektoren: drei Situationen in Frontnähe (mit tiefem Zug); drei Situationen frontfern unter relativ starkem antizyklonischem Einfluss (mit hohem Zug). (Winde vorwiegend aus SW.)
g) Herannahende Warmfronten. Situation des kurzfristigen Zwischenhochs, in der bereits das neu aufziehende Störungssystem spürbar ist. (W- bis SW-Winde.)
h) Niederschlagszonen von Zyklonen (Zentrale Gebiete und Fronten). (Winde vorwiegend aus Sektor W, wechselhaft, meist stark, oft böig.)
i) Rückseitenbereich von Tiefdruckgebieten (in den vorliegenden Fällen meist mit Winden aus Sektor W bis N).

Die relativ geringe Zahl von (40) Fällen, die wir hier neun typischen Situtationen eines Witterungsablaufes zuordneten (Abb. 23 und 24), zeigt höchste Zugdichten in Warmsektoren (bzw. am NW-Rand von Hochdruckgebieten) und auf der SW-Seite von Antizyklonen: alles Fälle, in denen warme, südliche Luftströmungen vorherrschten. Zentrale Gebiete von Antizyklonen, Flachdrucklagen mit antizyklonischem Charakter, wie auch Bisenlagen und kurzfristige Schönwetterlagen zwischen zwei Tiefdruckgebieten zeigen mittlere Zugdichten. Schwacher Zug wurde auf der Ostseite von Hochdruckgebieten sowie in den Niederschlagszonen und im Rückseitenbereich von Zyklonen festgestellt.

Diese allgemeine Gegenüberstellung von Zugverlauf und Witterungsablauf impliziert keine kausale Abhängigkeit des Zuges vom Witterungsablauf an sich; sie ist lediglich eine in unserem Falle praktikable Betrachtungsweise. Die mögliche Wirkung einzelner Faktoren oder Faktorenkombinationen im Sinne von direkt zugbegünstigenden Merkmalen einer Wettersituation (LACK 1960c, 1963c) oder im Sinne von Schlüsselinformationen für eine biologisch sinnvolle Reaktion auf grossräumige Witterungsabläufe (NISBET und DRURY 1968) wird im Folgenden diskutiert.

4.2.2 *Diskussion*

Die ersten Arbeiten über die Witterungsabhängigkeit des Frühlingszuges zeigten in Nordamerika und Europa relativ gute Übereinstimmung (vgl. die Literaturreferate von BAGG et al. 1950 und von LACK 1960b): Die Ankunft der Zugvögel aus dem Süden fiel meist auf Tage mit warmen, südlichen Winden. Die

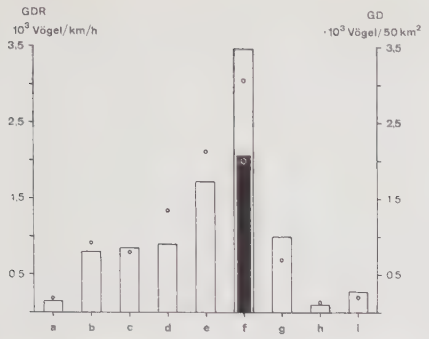


ABB. 24. Gesamtdurchzugsraten (GDR, Säulen) und Gesamtdichten (GD, Kreise) für dieselben Witterungslagen wie Abb. 23. Säule f für frontferne Warmsektoren weiss, für frontnahe schwarz.

relativ klaren, langsamen Witterungsabläufe in den USA erlaubten bald die Formulierung einer Hypothese, die heute in ihrer allgemeinsten Form zu einer kaum mehr umstrittenen These geworden ist: Stärkster Zug tritt danach in Nordamerika regelmässig dann auf, wenn ein Hochdruckgebiet auf der rechten und ein Tiefdruckgebiet auf der linken Seite des zur Diskussion stehenden Zugvektors liegt. Differenzen bestehen lediglich über die genauere Lage des Zugoptimums innerhalb dieses Übergangsgebietes: Visuelle Beobachtung des aktuellen Zuggeschehens, Auszählung von gelandeten Nachtziehern am Morgen, wie auch die Ankunftsdaten deuten auf stärksten Zug im Warmsektor, also im zyklonalen Bereich. NISBET und DRURY (1967) halten dem entgegen, dass mit der Auszählung von gelandeten Nachtziehern eher eine maximale Unterbrechung der Zugbewegung vor der herannahenden Kaltfront festgestellt wird als eine maximale Zugaktivität. Die Häufung der Ankunftsdaten im Warmsektor könnte ähnlich zustande kommen, und die visuellen Beobachtungen erfassen nur die tief fliegenden Vögel. NISBET und DRURY (1968) stellten mit Radar das Zugoptimum westlich des Hochdruckzentrums und in den meisten Fällen einen leichten Rückgang der Zugintensität in der feuchtwarmen Tropikluft fest.
RICHARDSON und HAIGHT (1970) beobachteten dagegen Massenaufbrüche von Staren auf Rastplätzen (ebenfalls mit Radar) meist in Warmsektoren. Da diese Beobachtungen einer einzelnen Art nicht durch eine mögliche Abnahme der Empfindlichkeit des Radargerätes in den bodennahen Bereichen beeinflusst werden, erhalten sie ein relativ grosses Gewicht, müssen aber nicht notwendig ein dem Gesamtzug entsprechendes Verhalten zeigen. Bei den Beobachtungen von NISBET und DRURY (1967 und 1968) kann die Möglichkeit einer Abnahme der Echodichte aufgrund der in Frontnähe abnehmenden Zughöhe nicht vollständig ausgeschlossen werden; sie ist aber vermutlich von geringer Bedeutung, da die in Nordamerika üblichen riesigen Warmsektoren nur in begrenzten Zonen ein Absinken der Zughöhe erwarten lassen.

In unseren Beobachtungsserien fehlen Witterungslagen, die genau den von NISBET und DRURY beschriebenen optimalen Zugsituationen entsprechen (W- bis NW-Seite des Hochs, vor einer Warmfront). Da unsere frontfernen Warmsektor-Situationen (am NW-Rand von Antizyklonen) am ehesten diesen Optimalsituationen gleichen und bei näher liegenden Frontsystemen nicht nur eine Abnahme der Zughöhe, sondern (trotz intensiverem Zug in Bodennähe) auch eine Abnahme der Gesamtdurchzugsrate (Abb. 24) auftritt, lassen auch unsere Resultate die Interpretation zu, dass mit der Zunahme des zyklonalen Einflusses die Gesamtzugintensität sinkt. Neben dem Rückgang der Gesamtzugintensität wäre

nach den Beobachtungen von RICHARDSON und HAIGHT auch eine gewisse Aktivierung einzelner Arten (ev. bodennah ziehender Kurzstreckenzieher) denkbar.

Für die Beurteilung des Zuges in Mitteleuropa scheint uns vor allem wichtig, dass unsere Beobachtungen eine grundsätzliche Übereinstimmung mit den nordamerikanischen Verhältnissen ergeben haben. Dies steht im Gegensatz zur vor allem durch Publikationen aus England geförderten und bei EASTWOOD (1967) zusammengefassten Ansicht, dass in Europa kein Zusammenhang zwischen der allgemeinen Witterungssituation und der Zugintensität bestehe, dass die Zugintensität lediglich durch die aktuellen Wetterverhältnisse, d. h. durch einzelne Wetterelemente bestimmt würde. LACK nahm dabei in seiner Literaturübersicht (1960b) an, dass hohe Temperaturen, geringe Bewölkung und schwache, am besten in Zugrichtung wehende Winde den Frühlingszug begünstigen. Durch seine danach folgenden Radarbeobachtungen kam er zur Überzeugung, dass der Rückenwind das bedeutendste «Zeichen» für den Aufbruch sei (vgl. etwa LACK 1963 a, b und c); er wiederholte aber die Feststellung, dass die allgemeine Witterungslage keinen Einfluss auf das Zuggeschehen habe.

Unsere Beobachtungen stehen der 1960 publizierten Meinung deutlich entgegen (vgl. die Beispiele Abb. 22 f und g, in denen bei klarem Himmel, höheren Temperaturen und schwächeren Winden geringere Zugintensitäten vorliegen als in Beispiel Abb. 22 i), sie lassen sich aber auch nicht a priori mit der revidierten Ansicht von 1963 in Einklang bringen (vgl. etwa Abb. 22 h mit 22 a und c), obwohl auch wir die Windrichtung als eine der wichtigsten Eigenschaften zugbegünstigender Witterungslagen betrachten.

Mit der folgenden Zusammenstellung möchten wir zeigen, dass die von EASTWOOD (1967: S. 138) hervorgehobenen Unterschiede in der Interpretation des Verhaltens europäischer und amerikanischer Vögel eher Unterschiede in Betrachtungsweise und Formulierung widerspiegeln als faktische Divergenzen und dass auch wirkliche Unterschiede im Beobachtungsmaterial nicht unbedingt auf andere Verhaltensweisen der Vögel, sondern möglicherweise nur auf komplexere Witterungsverhältnisse zurückzuführen sind:

a) Unterschiede in Betrachtungsweise und Formulierung

1. LACK (1963 a, b) unterschied lediglich drei allgemeine Witterungssituationen (anticyclonic, disturbed, transitional), wobei es ihm darum ging, eine alte britische Vorstellung zu überprüfen, nach der unter antizyklonischen Bedingungen allgemein stärkerer Zug herrsche als unter zyklonischen Bedingungen und kam dabei erwartungsgemäss zu einer Verwertung der Hypothese.
2. In den amerikanischen Publikationen (vgl. etwa NISBET und DRURY 1968), wie auch in unserer Arbeit, wird betont von Witterungsabläufen (weather systems) gesprochen, wobei in den Hochdruck-, Tiefdruck- und Flachdrucklagen verschiedene Phasen unterschieden werden (Hochdruckwestseite, -ostseite und -zentrum, im Tiefdruckgebiet Rückseite, Warmsektor, Zentrum und Störungszonen, und bei den Flachdrucklagen solche mit antizyklonischem bzw. zyklonischem Charakter). Würden wir nach dem Vorbild von LACK die verschiedenen Zugphasen innerhalb einer Antizyklone (z. B. den extrem schwachen Zug auf der Ostseite eines Hochs und die maximalen Zugdichten auf der W- bis NW-Seite) zusammenfassen und der Gesamtheit der zyklonischen Lagen (schwacher Zug auf der Rückseite, starker Zug im Warmsektor) gegenüberstellen, so würde sich auch in unserem Material kaum ein

ausgeprägter Zusammenhang mit der «allgemeinen Witterungslage», d. h. mit der Druckverteilung, ergeben.

3. Da LACK die Windrichtung als den dominierenden Faktor bezeichnet und seine Winddaten den Wetterkarten und aerologischen Messungen des Britischen Wetterdienstes für eine Höhe von 900 m entnommen sind, impliziert seine Aussage eigentlich einen ähnlichen Zusammenhang zwischen Zug und Witterungsablauf wie wir ihn feststellten; denn wenn die geostrophischen Windströmungen in 900 m Höhe in Zugrichtung verlaufen, so ist anzunehmen, dass ein Hochdruckgebiet auf der rechten Seite des besprochenen Zugvektors bzw. ein Tiefdruckgebiet auf dessen linker Seite die betreffende Windrichtung erzeugt hat.
4. Die von LACK (1963b) in Appendix B wiedergegebene Auseinandersetzung mit NISBET zeigt, dass LACK diesen Möglichkeiten der Interpretation offen gegenüberstand und dass er letztlich nur eine geringere Abhängigkeit der britischen Vögel von optimalen Faktorenkombinationen postulierte als dies bei den Vögeln grösserer kontinentaler Landmassen der Fall zu sein schien. Da in unserem Beobachtungsgebiet, entsprechend der dominierenden Zugrichtung, mehrheitlich Populationen aus den kontinentalen Gebieten Europas erfasst werden, können wir zu diesen feineren Unterschieden nicht direkt Stellung nehmen; doch halten wir die in EASTWOODs Überblick (1967) entwickelte Idee, dass europäische und amerikanische Vögel einen divergenten Reaktionsmodus entwickelt haben könnten, unter den dargelegten Gesichtspunkten für unnötig.

Es bleibt die Frage, weshalb grundsätzlich vergleichbare Verhältnisse in Europa trotz intensiver Radarbeobachtungen bisher nicht in analoger Weise beschrieben worden sind wie in Amerika.

b) Unterschiede in den Beobachtungsdaten

1. Die Witterungsentwicklung läuft in Europa normalerweise rascher ab als in Nordamerika. Die Tiefdruckwirbel folgen sich in kurzen Intervallen (Zyklon-Familien) und oft mit weitgehend okkludierten Frontsystemen. Dies hat zur Folge, dass die Regengebiete der Warmfronten häufig ohne typische Warmsektor-Aufhellung in die Niederschlagszonen der Kaltfronten übergehen. Zugoptima in Warmsektoren treten deshalb nicht selten hinter denjenigen im Zwischenhoch zurück oder fehlen ganz. Die zeitliche Dauer des Hochdruckeinflusses ist oft kurz und die räumliche Ausdehnung der Hochdruckgebiete (Zwischenhoch) gering, so dass kaum eine Ost- und eine Westseite unterschieden werden kann.
2. Da die Tiefdruckzentren häufig über die nördlichen Teile Europas hinwegstreichen, ist die Wirkung der unter Pt 1 geschilderten Situationen in England oft ausgeprägter als in Mitteleuropa; zudem wird die Witterungsentwicklung durch die maritimen Einflüsse unübersichtlich.
3. Auch die Zugverhältnisse selbst sind in England durch das gleichzeitige Auftreten verschieden gerichteter Wanderbewegungen (Einwanderung von Holland, Skandinavien und Island, Auswanderung nach SSE und SSW) kompliziert.
4. Die von uns bearbeiteten Zugperioden waren, zumindest in Teilen, ausgezeichnet durch relativ langsame Witterungsentwicklungen mit langen Hochdruckperioden und grossen Warmsektoren.

5. Da in der Nähe von Frontsystemen und Tiefdruckzentren mit einer Konzentration des Zuges in Bodennähe gerechnet werden muss, dürften häufiger als in Nordamerika Fälle auftreten, in denen wesentliche Teile des Zuges unter dem Bereich der normalerweise verwendeten Überwachungsradar-Anlagen fliegen (vgl. SUTTER 1957 a; LACK 1963 b, MASCHER et. al. 1962, GEHRING 1963, WILCOCK 1964, EVANS 1966). Bei Verwendung von MTI-Vorrichtungen ist evtl. mit zusätzlichen Verlusten bei Gegenwind zu rechnen.

Wir schliessen aus unseren Beobachtungen und den Vergleichen mit der englischen Literatur, dass dem Zugverhalten der europäischen Vögel nicht ein anderer, den besonderen Verhältnissen angepasster Reaktionsmodus zugrunde liegen muss, sondern dass dieselben Verhaltensweisen einerseits infolge rascherer Witterungsabläufe und z. T. komplizierterer Zugbewegungen weniger klar in Erscheinung treten als in Nordamerika und dass sie andererseits aufgrund unterschiedlicher Betrachtungsweise der Witterungsphänomene bis dahin nicht erkannt wurden.

5. Schlussbemerkung

Ein Zielverfolgungsradar vermittelt eine mit keinem anderen Instrument erreichbare Summe von qualitativen Informationen über den Vogelzug: Von jedem automatisch verfolgten Objekt können die Geschwindigkeit relativ zum Boden, die Flughöhe und die Zugrichtung mit grosser Präzision gemessen werden. Die Möglichkeit, mit demselben Gerät auch Höhenwindmessungen durchzuführen, stellt die beste Grundlage für die Berechnung von Kurs und Eigengeschwindigkeit und für die Beurteilung der Windabhängigkeit von Zughöhe und Zugintensität dar. Die Analyse von Echosignaturen gibt uns bereits jetzt Hinweise auf das Verhalten verschiedener Echoarten (radar species) innerhalb einer Nacht oder von Nacht zu Nacht. Können die Flugeigenschaften (Flügelschlagfrequenz, Schlagphasen- und Pausenlänge) der zoologischen Arten einmal mit Hilfe von Filmmaterial oder mit einer geeigneten Berechnungsmethode (SCHAEFER, mündl.) ermittelt werden, so würde schliesslich auch ein direkter Vergleich von auditiven und visuellen Zugbeobachtungen mit den am Radar beobachteten Arten möglich. Die Schwäche der angewendeten Methoden liegt in der geringen Zahl der pro Nacht automatisch verfolgbaren Objekte, wenn mit demselben Gerät auch Windmessungen und quantitative Messungen durchgeführt werden müssen und pro verfolgtes Ziel 1 $^1/_2$ Minuten benötigt werden.

Die mit dem Feuerleitradar erzielten quantitativen Ergebnisse eröffnen einerseits neue Möglichkeiten der Interpretation von Resultaten aus Feldbeobachtungen und Überwachungsradar-Beobachtungen, zeigen aber andererseits, dass über den weiträumigen Ablauf des Zuges letztlich nur ein entsprechendes Netz von Beobachtungsstationen oder eine Kombination von Überwachungsradar und Zielverfolgungsradar Aufschluss geben kann.

6. Dank

Was uns bei unserer Arbeit immer wieder beeindruckt hat, waren das grosse Vertrauen und die vielfältige Hilfe, die uns von den verschiedensten Seiten zuteil geworden sind:

Vorab denke ich an das Verständnis meines Lehrers, Prof. Dr. A. PORTMANN, der mir den Beginn der nun laufenden Forschungsarbeiten ermöglicht und ihre Weiterführung mit immer neuem Wohlwollen gefördert hat. Ich denke an die Herren Dres. J. JOSS und E. SUTTER, die Wesentliches zum Gelingen unserer Studien beigetragen haben und mit aufbauender Kritik auch am vorliegenden Bericht mitgewirkt haben. Das Interesse und die Anerkennung von Herrn Dr. A. SCHIFFERLI waren Ansporn und Bestätigung zugleich. Ich erinnere mich auch an die vielen schönen, zum Teil auch harten Stunden der Feldarbeit zusammen mit freiwilligen Helfern, wobei ich hier auch diejenigen in meinen Dank einschliessen möchte, die in der Herbstzugperiode 1968 an der Weiterführung der Forschungsarbeit beteiligt waren: Mein Freund P. STEIDINGER hat nicht nur während der ganzen Herbstperiode 1968 und im Frühling 1969 im Felde mitgewirkt, sondern hat anschliessend auch die Auswertung von Wind- und Flugwegmessungen übernommen. Als Radarbeobachter halfen U. BÜHLER, G. FINGERLIN, H. FRUTTIGER, K. FÜGLISTER, A. GLATT, R. GLATTHAAR, U. HERSBERGER, REGULA LANG, T. MAURER, B. PERRET, CH. SCHEIDEGGER, M. SCHMID, MATHILDE SCHOMMER und N. ZBINDEN. Meiner Frau MYRTHA danke ich nicht nur für ihre Geduld, sondern auch für die aktive Mithilfe im Felde und bei der oft mühsamen Kleinarbeit des Auswertens. Ich danke Herrn Dr. H. PAULI für seine bereitwillige Hilfe bei der elektronischen Datenverarbeitung, sowie den Herren R. LÉVÊQUE, Prof. U. RAHM, Dr. CHR. SUTER und T. BROUGH für ihre Hilfe bei der Übersetzung der Zusammenfassung.

Auf meteorologischem Gebiet genossen wir die liebenswürdige Hilfsbereitschaft von Herrn Direktor O. WEBER und Fräulein E. SCHAERLI von der Flugwetterzentrale in Kloten; wir durften uns auf die Ratschläge der Herren Dozenten Dr. G. A. GENSLER und Dr. W. SCHÜEPP stützen und hatten in Herrn A. URFER einen eifrigen und sachkundigen Mitarbeiter.

Von den vielen Zeichen der Hilfsbereitschaft, die wir auf nichtwissenschaftlichem Gebiet durch Amtsstellen und Privatpersonen erfahren durften, können hier nur einige, als Beispiel unter vielen, aufgezählt werden: Wir erinnern uns dankbar an die freundliche Aufnahme bei Familie WALDVOGEL im Hofgut Langgraben während unseres ersten, nicht sehr komfortablen Feldaufenthaltes. Wir danken den Gemeinden Riedt und Bachenbülach, dem Tiefbauamt des Kantons Zürich und der Firma DÜBENDORFER für die Erlaubnis, ihre Kiesgruben als Stellungsorte (und Wohnorte) benutzen zu dürfen, und den Herren SCHOCH und DEUBER für ihre Hilfe beim Ausbau der Gruben.

Unsere Arbeit wäre nicht durchführbar gewesen ohne die finanzielle Unterstützung durch die *Stiftung Dr. Fritz Hoffmann-La Roche zur Förderung wissenschaftlicher Arbeitsgemeinschaften in der Schweiz* und ohne die technische und materielle Hilfe durch die Firma *Contraves AG*, den *Flugsicherungsdienst der Radio Schweiz AG* und verschiedene Dienststellen der *Schweizer Armee*. Der *Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung* ermöglichte die Weiterführung des ganzen Projektes seit April 1970.

Wir danken insbesondere der Direktion der Firma *Contraves AG* für die Überlassung eines Radargerätes in den Beobachtungsperioden 1968 und Herrn Abteilungsleiter A. BERTSCHI, der, wie auch seine Mitarbeiter W. SIEGENTHALER und W. WETLI, kostbare Stunden seiner Freizeit für unsere Forschungsarbeit einsetzte. Wir bewunderten an Herrn BERTSCHIS Abteilung nicht nur einen aussergewöhnlichen Teamgeist, sondern das persönliche Interesse jedes einzelnen

Mitarbeiters am Gelingen einer Sache. Eine optimale Leistungsfähigkeit des Radargerätes und der ebenfalls zur Verfügung gestellten Zusatzeinrichtungen schien Ehrensache eines jeden. Herr Ing. E. Frei, der bei der Lösung verschiedener radartechnischer Probleme massgebend mitgewirkt hat, ist für mich nicht nur kompetenter Ratgeber, sondern im Laufe der Zusammenarbeit auch persönlicher Freund geworden.

Die ergänzenden Beobachtungen am Klotener Überwachungsradar wurden uns dank dem freundlichen Entgegenkommen der Herren B. Jermann, U. Jemetta, W. Roeck und H. Schmidiger ermöglicht.

Unser Dank für die Beobachtungsperiode 1969 richtet sich in erster Linie an Herrn Oberstkorpskommandant Studer, Kommandant der Flieger- und Fliegerabwehrtruppen, der mit seinem besonderen Verständnis für die biologische Forschung bereits 1967 die Vorversuche mit dem Prototyp der «Superfledermaus» ermöglicht hatte und nun auch unserem neuen Forschungsprogramm zustimmte und die Anweisungen zur Überlassung eines Gerätes an die direktbetroffenen Stellen weiterleitete. Wir durften uns in der Folge eines vorzüglichen Kontaktes mit den nachstehenden Dienststellen erfreuen: *Abt f Fl u Flab, Stab der Gruppe für Generalstabsdienste (Materialsektion), Gruppe für Rüstungsdienste, Kriegsmaterialverwaltung (DZB), Zeughaus Emmen.* Ganz besonders wertvoll war für uns die Zusammenarbeit mit Herrn M. Tanner, Leiter der Radarabteilung im Zeughaus Emmen.

Dieses erfreuliche Zusammenwirken verschiedenster Kräfte aus Wissenschaft, Industrie und Armee und die persönlichen Hilfeleistungen einzelner haben es ermöglicht, modernste Geräte für die Vogelzugforschung einzusetzen, eine Fülle von neuen Informationen zu sammeln, der Lösung mancher Probleme näher zu kommen und mit der Darlegung neuer Fragen und Hypothesen das Staunen vor dem Ganzen zu mehren.

Zusammenfassung

1. Während zwei dreiwöchigen Beobachtungsperioden in den Jahren 1968 und 1969 wurden mit einem 3-cm-Zielverfolgungsradar Daten über den Frühlingszug im Schweizerischen Mittelland gesammelt.
2. Die Bestimmung der Echofrequenz im vertikal gerichteten Strahl wurde ergänzt durch Zählungen mit niedriger Antennenelevation. Die Zugfrequenz konnte in allen Höhenbereichen zwischen rund 50 m und 4000 m ermittelt werden. Die Zugdichte wurde mit Hilfe der mittleren Zuggeschwindigkeit berechnet.
3. Qualitative Informationen über den Zug wurden durch automatische Verfolgung von Einzelzielen erhalten; sie umfassten: a) Messung von Zuggeschwindigkeit, Höhe und Zugrichtung; b) Messung der Höhenwinde mit Hilfe automatisch verfolgter Wetterballone; c) Berechnung von Eigengeschwindigkeit und Kurs anhand von a) und b); d) Aufzeichnung von Echosignaturen.
4. Die qualitativen Analysen führten zu folgenden Ergebnissen:
   — Echos von Fledermäusen, Insekten, Einzelvögeln und Vogelgruppen können unterschieden, diejenigen von Fledermäusen und Insekten, wenn nötig, eliminiert werden.
   — Der Nachtzug enthält im Frühling über dem Schweizerischen Mittelland praktisch keine eng geschlossenen Schwärme, so dass normalerweise in einem Impulsvolumen nur ein Vogel fliegt. Neben solitär ziehenden Individuen scheinen lockere Formationen mit Individualabständen von 100—300 m (minimal 50 m) vorzukommen. Im Tagzug dominieren die Schwärme.
   — Da die festgestellte Zunahme der Eigengeschwindigkeiten um 10 % pro Kilometer Höhenzunahme mit der Reduktion der Luftdichte nicht vollständig erklärt werden kann, wird angenommen, dass raschere Flieger grössere Flughöhen bevorzugen.

— Die Zuggeschwindigkeit wird nicht additiv durch die in Zugrichtung wirkende Windkomponente beeinflusst; nur ca. ⅔ des betreffenden Windvektors wurden in den von uns betrachteten Fällen auf die Zuggeschwindigkeit übertragen. Die Eigengeschwindigkeit sinkt also mit Rückenwind und steigt bei Gegenwind (die Wirkung der Windgeschwindigkeit wird teilweise kompensiert).
— Der Zug setzte sich mehrheitlich aus kleinen Passeres zusammen. Nur ca. 14 % der gemessenen Streuquerschnitte deuten auf mittelgrosse (Stare, Drosseln) und rund 4% auf grosse Vögel (Tauben, Enten).
— Eine provisorische «Radar-Systematik» zeigt eine Möglichkeit zur Klassierung von Echosignaturen und zu ihrer Verwendung ohne die Kenntnis der entsprechenden zoologischen Klassifikation.

5. Die quantitativen Analysen erbrachten folgende Resultate:
— Die mittlere Höhenverteilung des Zuges zeigte am Tag eine geringere Höhe des Zentralwertes (400 m ü. B.) als in der Nacht (700 m ü. B.). Die 90%-Grenze lag am Tag und in der Nacht bei 2000 m ü. B.
— Die maximale Zugintensität wurde bei ungestörter Wetterlage ungefähr um Mitternacht erreicht, während die Zughöhe ab 2 Stunden vor Mitternacht mehr und mehr absank.
— Obwohl der Zugverlauf von Tag zu Tag oft gleichzeitig hohe Zugintensität und grosse Zughöhen zeigte, deuten geringe Zughöhen bei stärkstem Zug in Warmsektoren auf — wenigstens zum Teil — divergente Abhängigkeiten.
— Stabile Schönwetterlagen begünstigen grosse Flughöhen; in der Nähe von Störungszonen ist ein Absinken der Zugobergrenze festzustellen. Eine 0°-Schicht in der Atmosphäre wirkt nicht zugbegrenzend, doch scheint ein Zusammenhang zwischen Zughöhe und Temperaturverlauf in der Atmosphäre in allgemeinerer Form zu bestehen. Flug in Wolken, Nebel oder Regen kommt vor, wird aber im allgemeinen vermieden. In Situationen, die nicht durch den Einfluss von Frontsystemen, Nebel oder Wolken gestört sind, treten auf den Niveaus mit stärkstem Rückenwind bzw. schwächstem Gegenwind erhöhte Zugdichten auf.
— Höchste Zugintensitäten wurden festgestellt, wenn ein Tiefdruckgebiet auf der linken und (oder) ein Hochdruckgebiet auf der rechten Seite des Hauptzugvektors lag; geringste Zugdichten auf der Ostseite von Hochdruckgebieten sowie in den Niederschlagszonen und auf der Rückseite von Zyklonen.

Résumé

1. En 1968 et 1969 on a réuni, pendant deux périodes d'observation de 3 semaines chacune, des données sur la migration de printemps à travers le Plateau Suisse. Ces observations ont été effectué au moyen d'un radar de conduit de tir à 3 cm. de longueur d'onde.
2. On a déterminé la fréquence des échos dans un faisceau dirigé verticalement et on a réussi à compter les oiseaux à basse altitude en émettant le faisceau avec angle bas (figure no. 4). Ainsi la fréquence migratoire a pu être établie à tous les niveaux entre 50 et 4000 m. au-dessus de la station, en divisant le nombre des échos comptées par unité de temps dans une certaine partie du faisceau par le plan correspondant du diagram d'antenne. — La densité de la migration a été calculé en divisant la fréquence migratoire par la vitesse moyenne de migration au niveau considéré (nombre d'oiseaux par plan vertical d'un hectare et par heure divisé par une certaine vitesse, ce qui donne le nombre d'oiseau dans un volume défini).
3. Des informations qualitatives sur la migration ont été obtenues par la poursuite automatique de buts isolés; elles comprenaient: a) mesure de la vitesse, de la hauteur et de la direction migratoire; b) mensuration des vents en altitude par la poursuite automatique de ballons-sondes; c) détermination de la vitesse propre et de la direction propre (heading) grâce à a) et b); d) enregistrement des variations d'amplitude des échos dans le temps (Echosignaturen).
4. Les analyses qualitatives ont donné les résultats suivants: — On peut distinguer les échos dûs aux chauves-souris, aux insectes, aux oiseaux isolés ou en groupes; les insectes et les chauves-souris peuvent être déterminés et éliminés, si c'est nécessaire. — La migration nocturne printannière sur le Plateau Suisse ne comprend presque pas de volées denses, de sorte qu'un seul oiseau apparaît normalement par volume d'impulsion. A part les individues migrant solitairement, il semble y avoir des formations

lâches avec 100 à 300 m. (au minimum 50 m.) de distance entre individus. En migration diurne les volées dominent. — Etant donné que l'augmentation de 10 % du moyen des vitesses propres pour chaque élévation de 1000 m. ne peut s'expliquer uniquement par la diminution de la densité atmosphérique, on admet que les oiseaux plus rapides préfèrent voler plus haut. — La vitesse de la migration n'est pas influencée de manière additive par la composante du vent agissant dans la direction migratoire; environ $^2/_3$ seulement de la composante du vent dans la direction de vol sont ajoutés à la vitesse des oiseaux dans les cas étudiés par nous. La vitesse propre diminue donc par vent arrière et augment par vent contraire (l'effet de la vitesse du vent est partiellement compensé). — La migration se composait en majorité de petits passeraux. Environ 14 % seulement des sections radar mesurées indiquent des oiseaux de taille moyenne (étourneaux, grives) et environs 4 % des oiseaux de grande taille (pigeons, canards). — Une «Systématique de Radar» provisoire montre une possibilité de classer les variations d'amplitude des échos et de les utiliser sans connaissance de la classification zoologique correspondante.

5. Les analyses quantitatives ont montré les résultats suivants: — La distribution des hauteurs migratoires a révelé une valeur médiane (50%) plus faible de jour (400 m. au-dessus du sol) que de nuit (700 m.) 90 % des oiseaux volaient de jour comme de nuit en dessous de 2000 m. au dessus du sol, 10 % étaient dispersés jusqu'à 4000 m. — En cas de situation de beau temps stable, l'intensité migratoire maximale a été atteinte vers minuit, tandis que la hauteur de la migration s'abaissait successivement à partir de 22 h. — Le déroulement de la migration a souvent montré en même temps une grande intensité migratoire et une grande hauteur de migration. Cependant, des hauteurs de migration faibles pendant des mouvements migratoires très forts dans des secteurs chauds indiquent, au moins partiellement, des dépendences divergentes. — Du beau temps stable favorise des grandes hauteurs de vol; dans la proximité de zones perturbées on constate un abaissement de la limite supérieure de la migration. La limite atmosphérique de 0 degré n'entraîne pas les oiseaux a monter plus haut, mais il semble y avoir une corrélation entre la hauteur migratoire et l'évolution verticale de la température atmosphérique. — Le vol peut éventuellement avoir lieu dans les nuages, par brouillard ou dans la pluie, mais ces conditions atmosphériques sont généralement évitées. — Dans les situations non perturbées par des fronts, par brouillard ou des nuages des densités migratoires plus grandes se produisent aux altitudes ayant le vent arrière le plus fort ou le vent contraire le plus faible. — Les plus fortes intensités migratoires ont été constatées lorsqu'une zone de basse pression se trouvait à gauche du vecteur principale de la migration et (ou) une zone de haute pression sur la droite; la densité migratoire la plus faible du côté Est des anticyclones, ainsi que dans les zones de précipitations et à la traîne de cyclones.

Summary

1. A «Superfledermaus» fire-control radar with a wavelength of 3 cm was used for qualitative and quantitative investigations of spring migration in northern Switzerland.
2. Starting with the qualitative methods described by SCHAEFER (1966 and 1968), and the method of counting birds in a vertically aimed radar beam, proposed by EASTWOOD and RIDER (1966), we attempted to overcome difficulties in working with a surveillance radar by using a tracking radar for both methods combined.
3. The present study gives a methodical basis for a quantitative investigation of migration with a tracking radar and applies these methods to describe the relations between weather and bird migration. Qualitative methods and results are only included as far as they appear necessary; they will be presented in forthcoming papers, especially in a study by STEIDINGER on the directions of migration.
4. The qualitative methods are: a) measurements of the upper winds using automatically tracked balloons (up to three per night); b) measurements of ground speed, direction and height of single targets (an average of 70—80 per night), calculation of air speed and heading from a) and b); d) analysis of echo signatures on the basis of AGC-signals, which allow insects, bats, single birds and groups of birds to be distinguished.
5. The quantitative methods are: a) determination of the echo frequency in the vertically aimed beam between about 200 and 4000 m above ground; b) determination of the echo frequency at lowest levels with the beam directed with low elevation perpen-

dicular to the principal direction of migration; c) calculation of the frequency of bird targets per vertical counting area for each height interval. Before these calculations were made unwanted echoes (especially of insects) were eliminated, the range of the radar was established as more than 4 km for the smallest birds, and a value of 8 cm^2 was chosen as an average cross-section of the observed birds; d) calculation of the density of migration by dividing the frequency of bird targets by the average ground speed of the birds in the height interval considered.

6. The frequency of bird targets (i. e. the number of birds crossing a vertical, square, counting area of 100 m side length perpendicular to each bird's track during one hour, or, simpler expressed, the number of birds crossing a cylinder of 100 m in diameter and 100 m in height per hour) increases with tail winds and decreases with head winds. The density of migration (instantaneous number of birds in a volume with a base of 2 km^2 and a height of 250 m) is a measure of migratory activity independent of wind effects. — Following LOWERY and NEWMAN (1966) the term «Gesamtdurchzugsrate» is used and defined — adapting the term «migration traffic rate» to the metric system — as «the number of birds crossing a line of 1 km perpendicular to the principal direction of migration per hour». Accordingly the term «Gesamtdichte» (total density), is used to denote the number of birds above an area of 50 km^2.
7. The present results are based on two observation periods of three weeks in late March and early April in 1968 and 1969, echo signatures being sampled mainly in April 1969. Emphasis was put upon night migration.
8. The analysis of more than 1500 echo signatures shows that practically no dense flocks occur during night in spring migration over northern Switzerland. Therefore the echoes counted in the quantitative measurements of the night migration usually represent single birds. — The Z-modulation display of the A-scope, recorded by a continuously moving 36 mm film, shows the exact sequence of the single bird echoes in the vertical beam. From this, information concerning the spatial distribution of birds during night migration could be derived. It seems that, in addition to a large number of birds flying alone, there are loose bird groups with distances between individuals ranging from 100 to 300 m (minimum distance about 50 m).
9. During day migration in spring flocks prevail, although the flock-size is much smaller than in autumn and single birds and small groups are fairly frequent. — The formation of flocks by day migrants takes place only with increasing day-light. It is assumed, as a hypothesis, that also in night migration distances between the individuals in a flock vary according to the light conditions.
10. The average air speed of the migrating birds increases with height. The increase is about 10 % per km of height, which is double the expectation resulting from the decrease of air density. It is assumed that fast flying birds choose higher flight levels than slow flying species. — These facts, as well as the wind conditions changing with height, made it necessary to use different values of the average ground speed for different height intervals.
11. Ground speeds are not influenced in an additive way by the wind component along the birds' tracks. Only about $^2/_3$ of the corresponding wind vector are added to the ground speed. It appears that birds are somehow able to regulate their flight speed according to the actual winds without losing the optimal ratio between air speed and power output. The ability of birds to change their air speed renders difficult the use of this parameter for characterizing species.
12. In order to obtain data on the kind of birds migrating and on possible changes during a night or between different nights, attempts were made to establish a provisional radar classification based on echo signatures, but no attempt has so far been made to correlate this with a zoological classification. — Wing-beat frequency, flapping and quiescent phases during flight and — with less diagnostic value — radar cross-sectional area and the air speed of the species allowed to describe 34 radar types with 1—4 radar species each. A radar species may comprise several zoological species with similar flight features.
Most of the observed species are passerines, small birds of the subfamilies Turdinae, Sylviinae, and Muscicapinae. Only 14 % of the measured radar cross-sections indicated medium-size birds (size of starlings and thrushes), and 4 % were large birds (size of pigeons and ducks).

13. The average altitude distribution of migration shows a median height (50 %-limit) of 700 m for night migration and 400 m for day migration. The 90 %-limit approximates to 2000 m for both day and night migration. The observed maximum heights are not extremely high (less than 4000 m in spring and up to 4500 m in autumn); this may be due to a relatively low proportion of waders and water-fowl. The relatively high levels of medians and 90 %-limits are discussed.
14. While the volume of migration during fine weather in spring reaches it's peak only at midnight, flight levels show a continuous decrease starting 2 hours before midnight. No immediate relationship between altitude and volume of migration is evident in the course of the night.
15. The night to night variations of migration show that high intensities of migration often coincide with high average flight levels. But high volumes of migration at low flight levels in warm sectors suggest that flight levels are merely governed by the local meteorological conditions, while the volume of migration seems to depend on large weather systems.
16. The determination of the optimum flight levels by aerodynamic and physiological characteristics of the birds and by air resistance, oxygen pressure, and temperature in the atmosphere are discussed as a basis for further investigation of these parameters.
17. Generally, stable situations with fine weather seem to favour high flight levels, while proximity to disturbance zones is associated with a lowering of the upper limit of migration. Yet the expected altitude variations according to the barometric pressure are obscured by other factors causing larger changes in flight levels. — The freezing level in the atmosphere has no ceiling effect. In 27 (out of 40) cases at least 10 % of the birds flew above the freezing level, the highest ones up to levels of $-10°$ to $-15°$ C. A statistical relationship between the height of the 90%-limit and the freezing level may be attributed to the birds choosing a certain flight level in order to optimize thermoregulation. — Precipitation leads to a lowering of flight levels. Flying in clouds or in fog is usually avoided by horizontal as well as vertical deviation. So concentrations of birds above and below layers of fog can be observed. These concentrations are missing in the case of the clouds associated with fronts. Although the clouds of a front (specially when broken) don't put an upper limit to the flight levels, the density of migration decreases at higher levels. Layers of mist or fog in stable air do not have the same effect as the clouds of a front.
    In situations undisturbed by front systems, fog or clouds, a distinct dependance of flight levels on wind conditions becomes evident: Highest densities of migration occur at the levels with strongest tail winds or weakest head winds.
18. Highest volumes of migration occured, in accordance with observations in North America, when a low pressure area was to the left, and a high pressure area to the right of the main vector of migration. The highest densities of migration were observed in warm sectors far off the fronts (the anticyclonic influence prevailing). In parts of warm sectors close to the frontal systems migration was concentrated at lower levels and showed a relatively high volume, similar to that on the W- or SW-side of anticyclons. Medium densities were observed in central parts of anticyclons, in flat pressure areas with anticyclonic character as well as in situations with easterly winds on the S-side of a high and in short fine-weather situations between two lows. Low density migration was observed to the east of high pressure areas, in areas of precipitation and on the rear side of cyclons.
    Differences between the present results and observations made in other parts of Europe (especially in England) are discussed. The author comes to the conclusion that the behaviour of European birds does not show a basic difference from the one of North Americain birds, but, merely, that the same basic patterns are less obvious in Europe due to the faster passage of weather systems and that differences in methods and formulations led to partly divergent interpretations.

Literatur

Bagg, A M., Gunn, W. W. H., Miller, D. S., Nichols, J. T., Smith, W., Wolfarth, F. P. (1950): Barometric pressure-patterns and spring bird migration. Wilson Bull. 62: 5—19.

BELLROSE, F. C. (1967): Radar in orientation research. Proc. 14th Intern. Orn. Congr., Oxford 1966: 281—309.
BELLROSE, F. C. and GRABER, R. R. (1963): A radar study of the flight directions of nocturnal migrants. Proc. 13th Intern. Orn. Congr., Ithaca 1962: 362—389.
BLOKPOEL, H. (1969a): An attempt to forecast the intensity of nocturnal fall migration. Proc. World Conf. on Bird Hazards to Aircraft, Kingston 1969: 285—298.
— (1969): A preliminary study on height and density of nocturnal fall migration. Proc. World Conf. on Bird Hazards to Aircraft. Kingston 1969: 335—348.
BRAUN, A. F. (1957): «Fledermaus», ein radargesteuertes vollautomatisches Feuerleitgerät der Firmen Contraves AG und Albiswerk Zürich AG. Flugwehr und Technik 1957: 3—10.
BRUDERER, B. (1967): Zur Witterungsabhängigkeit des Herbstzuges im Jura. Orn. Beob. 64: 57—90.
— (1969): Zur Registrierung und Interpretation von Echosignaturen an einem 3-cm-Zielverfolgungsradar. Orn. Beob. 66: 70—88.
BRUDERER, B. und JOSS, J. (1969): Methoden und Probleme der Bestimmung von Radarquerschnitten frei fliegender Vögel. Rev. Suisse Zool. 76: 1106—1118.
BRUDERER, B. und STEIDINGER, P. (im Druck): Methods in quantitative and qualitative analysis of bird migration with a tracking radar. Symposium on animal orientation (Wallops Station, Virginia, Sept. 1970).
COCHRAN, W. W., MONTGOMERY, G. G., and GRABER, R. R. (1967): Migratory flights of *Hylocichla* thrushes in spring: A radiotelemetry study. The Living Bird 6: 213—225.
DORKA, V. (1966): Das jahres- und tageszeitliche Zugmuster von Kurz- und Langstreckenziehern nach Beobachtungen auf den Alpenpässen Cou/Bretolet (Wallis). Orn. Beob. 63: 165—223.
EASTWOOD, E. (1967): Radar Ornithology. Methuen, London.
EASTWOOD, E. and RIDER, G. C. (1965): Some radar measurements of the altitude of bird flight. Brit. Birds 58: 93—426.
— (1966): The grouping of nocturnal migrants. Nature, London, 211: 1143—1146.
EICHENBERGER, W. 1966): Flugwetterkunde. 3. Aufl., Zürich.
ELIASSEN, E. (1962): Skin temperatures of seagulls exposed to aircurrents of high speed and low temperatures. Årbok Univ. Bergen, Mat.-Naturv. Serie No. 17 (Original nicht eingesehen).
EVANS, P. R. (1966): An approach to the analysis of visible migration and a comparison with radar observations. Ardea 54: 14—44.
GAUTHREAUX, S.A. (1968): A quantitative study by radar and telescope of the vernal migration of birds in coastal Louisiana. Ph. D. Thesis Univ. Microfilms. Ann Arbor, Mich.
— (1970): Weather radar quantification of bird migration. Bio Science 1970: 17—20.
GEHRING, W. (1963): Radar- und Feldbeobachtungen über den Verlauf des Vogelzuges im Schweizerischen Mittelland: Der Tagzug im Herbst (1957—1961). Orn. Beob. 60: 35—68.
— (1967a): Radarbeobachtungen über den Vogelzug am Col de Bretolet in den Walliser Alpen. Orn. Beob. 64: 133—145.
— (1967b): Analyse der Radarechos von Vögeln und Insekten. Orn. Beob. 64: 145—151
GRABER, R. R. (1968): Nocturnal migration in Illinois — Different points of view. Wilson Bull. 80: 36—71.
GRABER, R. R. and HASSLER, S. S. (1962): The effectiveness of aircraft-type (APS) radar in detecting birds. Wilson Bull 74: 367—380.
GRIFFIN, D.R. (im Druck): Orientation of migrating birds in or near opaque clouds. Symposium on animal orientation (Wallops Station, Virignia, Sept. 1970).
GRIFFITSH, M. E. (1969): The variation in the wingbeat pattern of the Starling (*Sturnus vulgaris*) and the Wood-pigeon (*Columba palumbus*). Biophysics Research Unit, Univ. of Technology, Loughborough, Leics. Report No. 4.
HARPER, W. G. (1958): Detection of bird migration by centimetric radar — a cause of radar «angels». Proc. Roy. Soc. Lond., Ser. B 149: 484—502.
HART, J. S. and BERGER, M. (im Druck): Energetics and temperature regulation during flight. Proc. 15th Intern. Orn. Congr., Den Hag 1970.

HOUGHTON, E. W. (1969a): Radar echoing areas of birds. RRE Memorandum No. 2557.
— (1969): Radar track of two crows. RRE Memorandum No. 2483.
LACK, D. (1960a): The height of bird migration. Brit. Birds 53: 5—10.
— 1960b): The influence of weather on passerine migration. A review. Auk. 77: 171—209.
— (1963a): Migration across the southern North Sea studied by radar. Part 4. Autumn. Ibis 105: 1—54.
— (1963b): Migration across the southern North Sea studied by radar. Part 5. Movements in August, winter and spring, and Conclusions. Ibis 105: 461—492.
— (1963c): Weather factors initiating migration. Proc. 13th Intern. Orn. Congr., Ithaca 1962: 412—414.
LOWERY, G. H. and NEWMAN, R. J. (1955): Direct studies of nocturnal migration. In: Recent Studies in Avian Biology. ed. A. Wolfson, Univ. of Illinois Press.
— (1966): A continentwide view of bird migration on four nights in October. Auk 83: 547—586.
MASCHER, J. W., STOLT, B-O., and WALLIN, L. (1962): Migration in spring recorded by radar and field observations in Sweden. Ibis 104: 205—215.
NISBET, I. C. T. (1963a): Measurements with radar of the height of nocturnal migration over Cape Cod, Massachusetts. Bird Banding 34: 57—67.
— (1963b): Quantitative study of migration with 23-centimetre radar. Ibis 105: 435—460.
NISBET, I. C. T. and DRURY, W. H. (1967): Weather and migration. Massachusetts Audubon 52: 12—19.
— (1968): Short-term effects of weather on bird migration: A field study using multivariate statistics. Anim. Behav. 16: 496—530.
PENNYCUICK, C. J. (1969): The mechanics of bird migration. Ibis 111: 525—556.
RICHARDSON, W. J. and HAIGHT, M. E. (1970): Migration departures from starling roosts. Can. J. Zool. 48: 13—39.
SCHAEFER, G. W. (1966): The study of bird echoes using a tracking radar. A synopsis of recent experiments. (Vervielfältigt zu Handen der Teilnehmer am 14. Int. Orn. Kongr., Oxford 1966).
— (1968): Bird recognition by radar. A study in quantitative radar ornithology. In: The problems of Birds as Pests MURTON and WRIGHT, eds., London/New York.
SCHERRER, P. (1957): Physik I. (Gekürzte Vorlesung). 7. Auflage. Verlag Akad. Masch. Ing. Verein ETH, Zürich 1957.
SCHÜZ, E. (1971): Grundriss der Vogelzugkunde. Parey, Berlin.
STEIDINGER, P. (1968): Radarbeobachtungen über die Richtungen und deren Streuung beim nächtlichen Vogelzug im Schweizerischen Mittelland. Orn. Beob. 65: 197 bis 226.
— (in Vorbereitung): Der Einfluss des Windes auf die Richtung des nächtlichen Vogelzuges. Radarbeobachtungen über dem Schweizerischen Mittelland. Orn. Beob.
SUTTER, E. (1957a): Radar als Hilfsmittel der Vogelzugforschung. Orn. Beob. 54: 70—96.
— (1957b): Radar-Beobachtungen über den Verlauf des nächtlichen Vogelzuges. Rev. Suisse Zool. 64: 294—303.
— (1961): Einfluss des Wetters auf die nächtliche Orientierung wandernder Vögel nach Beobachtungen am Radarschirm. Sonderbücherei der Funkortung, Diskussionstagung in Essen v. 4.—8. Jan. 1960 1 (8): 1—14.
TEDD, J. G. and LACK, D. (1958): The detection of bird migration by high power radar. Proc. Roy. Soc. Lond., Ser. B 149: 503—510.
WEITNAUER, E. (1956): Zur Frage des Nächtigens beim Mauersegler. V. Beitrag. Orn. Beob. 53: 74—81.
— (1960): Über die Nachtflüge des Mauerseglers, *Apus apus*. Orn. Beob. 57: 133—141.

Jetzige Adresse: *Dr. B. Bruderer, Schweizerische Vogelwarte, CH-6204 Sempach*

Annexe

Annex 1: Erklärung von Abkürzungen und Fachausdrücken

Antennendiagramm: Graphische Darstellung der Strahlungseigenschaften einer Radarantenne, angegeben in dB Abschwächung bezogen auf die Strahlachse für beliebige Winkelabweichungen von dieser Achse.

A-Spur: *A-scope display* = KO-Darstellung des Verlaufs der Echointensität nach der Emission eines Impulses; sie zeigt die empfangenen Echos in Form einer Ablenkung des Elektronenstrahls auf der Abszisse (Zeitbasis) proportional zur Entfernung zwischen Radargerät und reflektierendem Objekt. Darstellung der Echointensität als Amplitude auf der Ordinate.

AVR: Automatische Verstärkungsregulierung; für den Ausgleich von Echofluktuationen bei einem Zielverfolgungsradar. Entspricht dem englischen *automatic gain control* (AGC).

dB: Dezibel. 10 Dezibel (1 Bel) entsprechen dem Verhältnis 1:10 (Die db-Skala ist logarithmisch).

Echofrequenz: Zahl der pro Zeiteinheit im Strahl auftauchenden Echos (nicht auf eine bestimmte Fläche bezogen).

Echosignatur: Intensitätsschwankungen (Fluktuationen) eines Echos, aufgezeichnet als Spannungsschwankungen innerhalb eines bestimmten Zeitintervalles.

Eigengeschwindigkeit: *air speed* = Fluggeschwindigkeit eines Vogels relativ zur umgebenden Luft = Geschwindigkeitsvektor in Richtung «heading» (Berechnung gemäss Annex V).

Feuerleitradar: Siehe Zielverfolgungsradar

Hauptzugrichtung: Dominierende Zugrichtung in einem bestimmten Beobachtungsgebiet, bei ungestörter Wetterlage, zur Tageszeit mit höchster Zugintensität (ev. für Tag- und Nachtzug verschieden).

heading: Flugrichtung eines Vogels relativ zur umgebenden Luft = Richtungseinstellung der Körperachse = Kurs. (Berechnung gemäss Annex V.)

Impulsvolumen: Volumen eines emittierten Radarimpulses = Länge des Impulses im Raum (zu berechnen aus Pulsdauer und Lichtgeschwindigkeit) multipliziert mit der Querschnittfläche des Strahles auf der betreffenden Distanz.

KO: Kathodenstrahloszillograph

Kurs: siehe «heading»

MTI: *moving target indicator* = Vorrichtung zur Eliminierung von Standzeichen.

pencil beam: eng gebündelter Radarstrahl mit $\sim$ kreisförmigem Querschnitt.

Polardiagramm (eines Vogels): Graphische Darstellung des Streuquerschnittes in Abhängigkeit vom Einfallswinkel des Radarstrahls relativ zur Körperachse des Vogels.

PPI: Plan-Positions-Indikator. Radarschirm, der Azimut, Entfernung und Echostärke (Lichtintensität) wiedergibt, ähnlich einer Landkarte, mit dem Radargerät im Mittelpunkt und der Zeitbasis als Polkoordinate.

Primärstrahler: *feed;* strahlt die im Radargerät erzeugten Hochfrequenzimpulse auf den Reflektor, von dem sie (je nach Zweck des Gerätes) in mehr oder weniger gebündelter Form in den Raum abgestrahlt werden. Von einem Objekt reflektierte Energie gelangt bei der «Superfledermaus» umgekehrt vom Reflektor über den Primärstrahler ins Radargerät zurück.

Pulsdauer: Zeitliche Dauer eines Sendeimpulses (in der Grössenordnung von μ-Sekunden).

Radar: *Ra*dio *D*etection *a*nd *R*anging (oder auch: *R*adio *A*ircraft *D*etection *a*nd *R*anging) = Funkortung

RHI: *range hight indicator* = Distanz-Höhen-Indikator, zeigt Höhe (Ordinate), Entfernung (Abszisse) und Echostärke (Lichtintensität).

Sendeimpuls: Das von einem Impulsradar in kurzen Zeitintervallen ausgesendete Impulspaket elektromagnetischer Wellen. Das im Nullpunkt der Zeitbasis auf dem Radarschirm zur Darstellung gelangende Startsignal des Sendeimpulses wird oft ebenfalls «Sendeimpuls» genannt.

SE-Zelle: engl. *T-R switch* = Sende-Empfangs-Zelle. Wirkt als Wechselventil und schliesst während der sehr kurzen Zeit des Sendens (Pulsdauer) den Empfänger.

Standzeichen: Radarsignale von unbeweglichen Objekten.

STC: *sensitivity time control* = distanzabhängige Verstärkungsregulierung. Schwächt die Signale in den antennennahen Bereichen ab.

Strahlungsdiagramm: Graphische Darstellung des Ortes gleicher Empfindlichkeit eines Radarstrahles in der Vertikal- oder Horizontalebene. Würde die Energie gleichmässig nach allen Richtungen abgestrahlt, so würden diese Linien aus konzentrischen Kreisen um den Sender bestehen. Bei einem Radargerät wird die Energie mehr oder weniger gebündelt, so dass das Strahlungsdiagramm eine Keulenform annimmt (vgl. Abb. 1 und Abb. 6). Die effektive Fläche des Diagramms und die Reichweite des Gerätes sind abhängig vom Streuquerschnitt des angestrahlten Objektes.

Streuquerschnitt (σ): Mass für das Reflexionsvermögen eines Objektes auf elekromagnetische Wellen von bestimmter Wellenlänge; angegeben in der Dimension einer Fläche (cm^2). (Synonym: Radarquerschnitt; *radar echoing area*)

track: siehe Zugrichtung.

x-Band: Wellenlänge um 3,2 cm

Zielverfolgungsradar: Radargerät mit enggebündeltem Impulsstrahl, mit der Möglichkeit zur automatischen Verfolgung einzelner Objekte.

Z-Modulation: KO-Darstellung eines Signals, wobei die Zeitablenkung auf der x-Achse erfolgt, die Amplitude des Signals aber nicht wie bei der A-Spur-Darstellung in y-Richtung, sondern als Intensitäts-Modulation gezeigt wird.

Zugdichte: Zahl der zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem definierten Luftvolumen befindlichen Vögel.

Zugfrequenz: Zahl der Vögel, die pro Zeiteinheit eine bestimmte Fläche der senkrecht zur Zugrichtung stehenden Vertikalebene durchqueren. (Details siehe Kapitel 2.4.3).

Zuggeschwindigkeit: *ground speed* = Fluggeschwindigkeit eines Vogels relativ zum Boden = Geschwindigkeitsvektor in Zugrichtung. (Direkt messbar mit dem Radargerät; vgl. Annex V).

Zugrichtung: *track* = Flugrichtung eines Vogels relativ zum Boden (Direkt messbar mit dem Radargerät; vgl. Annex V).

Annex II: Berechnung der wirksamen Strahlbreite

Die allgemeine Formel für die Echostärke E im Strahlzentrum gibt an, wie gross die Echoamplitude (dB über Rauschen) eines Objektes mit beliebigem Streuquerschnitt σ (cm^2) in der Distanz r (m) wird, wenn die maximale Reichweite R für ein Objekt mit bekanntem Streuquerschnitt σ_R bekannt ist.

a) $$E = \log \frac{\sigma}{\sigma_R} + 4 \log \left(\frac{R}{r}\right)$$

wobei $4 \log \left(\frac{R}{r}\right)$ die natürliche Distanzabhängigkeit des Echos ist.

Bewegt sich das Objekt nicht auf der Strahlachse, sondern um einen Winkel Θ davon entfernt, so muss ausserdem der in dB gemessene Dämpfungswert $\log f(\Theta)$ aus dem Antennendiagramm berücksichtigt werden:

b) $$E = \log \frac{\sigma}{\sigma_R} + 4 \log \left(\frac{R}{r}\right) + \log f(\Theta)$$

Zusätzliche Abschwächungen (z. B. «optische» oder Elektronische STC) in bestimmten Entfernungsbereichen r sind durch den Faktor f (r) in die Formel einzusetzen:

c) $$E = \log \frac{\sigma}{\sigma_R} + 4 \log \left(\frac{R}{r}\right) + \log f(\Theta) + \log f(r)$$

Für die Berechnung des normalen Strahlungsdiagrammes (Grenzlinie der Erfassbarkeit eines bestimmten Streuquerschnittes) ist E = O. Damit gilt:

d) $$-\log f(\Theta) = \log \left(\frac{R}{r}\right) + \log f(r) + \log \frac{\sigma}{\sigma_R}$$

wobei R die bekannte Maximalreichweite (im Strahlzentrum) symbolisiert und r die

beliebig wählbaren Distanzen, auf denen die Strahlbreite berechnet werden soll. Für jeden Wert von log f (Θ) kann im graphisch dargestellten Antennendiagramm der Winkel Θ abgelesen werden, bei dem die gewählte Reichweite r gültig ist. Die Strahlbreite beträgt 2r Θ, (Θ im Bogenmass).

Annex III: Ausscheidung von Insektenechos im Frühling 1968

a) *Ausscheidung kleinster Echos durch «optische» STC des Beobachters (Frühling 1968)*

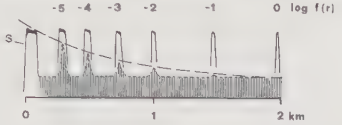


Fig. I zeigt eine Darstellung, wie sie dem «kleinen Fenster» des Distanzindikators entspricht. Links, mit S bezeichnet, ist das Startsignal des Sendeimpulses sichtbar. Rechts davon, auf verschiedenen Distanzen, die Normalgrösse von Kleinvogelechos im Strahlzentrum. Die gestrichelte Linie (----) bezeichnet die Grenze, unterhalb der Echos als «Insektenechos» ausgeschieden wurden. Die Untersuchung der Empfindlichkeitszonen des Gerätes und des gesammelten quantitativen Materials ergaben, dass mit dieser Methode bei weitem nicht alle Insektenechos eliminiert werden konnten, dass jedoch eine geringe Zahl von am Rande des Strahles nur knapp erfassten Vogelechos eliminiert worden war. Dieser Fehler wurde bei den Frequenzberechnungen ausgeglichen, indem in den Formeln für das Strahlungsdiagramm (Annex II) die in Fig. I angegebenen dB-Werte für log f(r) eingesetzt wurden. Das Strahlungsdiagramm wurde dadurch nur unweesntlich beeinflusst.

b) *Rechnerische Eliminierung der registrierten Insektenechos aus dem quantitativen Material (Frühling 1968)*

Im Frühling 1968 wurde mit niedrig gestellter Antenne im Distanzbereich zwischen 1800 und 3000 m ein Höhenintervall von rund 100 bis 350 m über dem Antennenniveau kontrolliert. Mehr als die Hälfte dieses Intervalls konnte auch mit vertikaler Antenne erfasst werden. In kalten Nächten und ebenso bei den meisten Messungen vom frühen Morgen ergaben beide Messmethoden vergleichbare Echofrequenzen. In warmen Nächten jedoch stiegen die Frequenzen im vertikalen Strahl auf den Distanzen 200—400 m oft auf ein Vielfaches der bei geringer Elevation im selben Höhenintervall festgestellten Frequenz. Dies bedeutet, dass trotz vergleichbarer Intensität des Vogelzuges bei geringer Distanz mehr Echos gezählt wurden als bei grosser Entfernung vom Radargerät. Da auch bei niedrig gestellter Antenne in Distanzbereichen bis zu 500 m dasselbe Phänomen zu beobachten war, mussten diese «überzähligen» Echos von Objekten mit sehr kleinen Streuquerschnitten stammen. Sie wurden als «Insektenechos» eliminiert. Grundlage für die rechnerische Eliminierung dieser Störechos bot der Vergleich zwischen der Echofrequenz bei niedrig gestellter Antenne (Q_n) mit der bei vertikalem Strahl gemessenen Frequenz (Q_v). Aus $\frac{100\,Q_n}{Q_v}$ ergab sich der prozentuale Anteil der Vogelechos. Die der restlichen Prozentzahl entsprechenden Echos wurden sowohl bei niedriger als auch bei hoher Elevation ausgeschieden.

Annex IV: Berechnung der Zugdichte für die Beobachtungsperiode 1968 anhand des Windeinflusses und Standardwerten der Fluggeschwindigkeit

Nach Kapital 3.2.1 nimmt die mittlere Zuggeschwindigkeit mit der Höhe zu. Wir berücksichtigen deshalb folgende Standardgeschwindigkeiten für die verschiedenen Höhenintervalle:

Höhenintervall (m. ü. B.)	0—500	500—1000	1000—1500	1500—2000	2000—4000
Fluggeschwindigkeit (km/h)	43	46	48	52	58

Zur Berechnung der effektiven mittleren Zuggeschwindigkeit muss zusätzlich der in Zugrichtung wirkende Windvektor $\vec{V}_{W/Z}$ berücksichtigt werden (vgl. Annex V). Nach

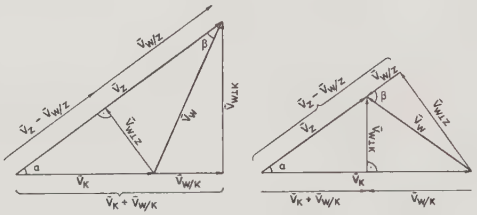
Kapitel 3.2.2 werden rund $^2/_3$ dieser Windkomponente auf die Zuggeschwindigkeit übertragen. Die mittlere Zuggeschwindigkeit im Höhenintervall 500—1000 m ergibt sich deshalb aus:

$\overline{V} = 46 + {}^2/_3 \vec{V}_{W/Z}$

Annex V: Die wichtigsten mathematischen Beziehungen zwischen Vogelflug und Wind.

a) Vektordiagramme (links mit Rückenwindkomponente, rechts mit Gegenwindkomponente)

Fig. II



$\vec{V}_Z$ = Vektor der Fluggeschwindigkeit in Zugrichtung (enthält Zuggeschwindigkeit und Zugrichtung)

$\vec{V}_K$ = Vektor der Fluggeschwindigkeit in Richtung der Körperachse (enthält Eigengeschwindigkeit und Kurs)

$\vec{V}_W$ = Geschwindigkeitsvektor des Windes (enthält Richtung und Geschwindigkeit des Windes)

$\vec{V}_{W/Z}$ = Windkomponente in Zugrichtung

$\vec{V}_{W/K}$ = Windkomponente in Richtung der Körperachse des Vogels (in Kursrichtung)

$\vec{V}_{WZ}$ = Windkomponente senkrecht zur Zugrichtung

$\vec{V}_{WK}$ = Windkomponente senkrecht zum Kurs (heading)

$\vec{V}_W$ und $\vec{V}_Z$ sind mit dem Radargerät bestimmbar. Alle übrigen Vektoren müssen aus diesen Informationen berechnet werden.

b) *Berechnungen*

Windkomponente in Zugrichtung $\left|\vec{V}_{W/Z}\right| = \left|\vec{V}_W\right| \cdot \cos \beta$

Windkomponente senkrecht zur Zugrichtung $\left|\vec{V}_{W\perp Z}\right| = \left|\vec{V}_W\right| \cdot \sin \beta$

Richtung der Körperachse (heading, Kurs) $\operatorname{tg} \propto = \dfrac{\left|\vec{V}_{W\perp Z}\right|}{\left|\vec{V}_Z - \vec{V}_{W/Z}\right|}$

Eigengeschwindigkeit $\left|V_K\right| = \sqrt{\left(\left|\vec{V}_Z - \vec{V}_{W/Z}\right|\right)^2 + \left(\left|\vec{V}_{W\perp Z}\right|\right)^2} = \dfrac{\left|\vec{V}_Z \quad \vec{V}_{W/Z}\right|}{\cos \propto}$

Windkomponente senkrecht zum Kurs $\left|\vec{V}_{W\perp K}\right| = \left|\vec{V}_Z\right| \cdot \sin \propto$

Windkomponente in Kurs-Richtung $\left|\vec{V}_{W/K}\right| = \left(\left|\vec{V}_W\right|\right)^2 - \left(\left|\vec{V}_{W\perp K}\right|\right)^2$

CURRICULUM VITAE

Am 18. Januar 1942 wurde ich, BRUNO BRUDERER, Bürger von Wald AR, als zweites Kind des FELIX BRUDERER und seiner Frau HELENA, geb. RIEDER in Othmarsingen AG geboren. Der Beruf meines Vaters als Beamter der SBB brachte es mit sich, dass ich den Ort meines Schulbesuchs verschiedentlich wechseln musste: Ich absolvierte die ersten zwei Jahre der Primarschule in Emmen LU, die folgenden zwei Jahre in Langnau BE und ein weiteres Jahr in Sissach BL, wo ich anschliessend während vier Jahren die Realschule besuchte. Im Frühling 1958 trat ich in die 6. Klasse des Realgymnasiums Basel ein. Nach bestandener Maturität immatrikulierte ich mich im Frühling 1961 an der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel, um dort im Hauptfach Zoologie, in den Nebenfächern Chemie, Botanik und Geologie-Palaeontologie zu studieren. Ich besuchte im Rahmen des Fachstudiums die Vorlesungen und Kurse der Herren Professoren und Dozenten E. ERLENMEYER †, E. FLÜCKIGER, M. GEIGER-HUBER, R. GEIGY, C. GROB, J. HÜRZELER, L. JENNY, H. LAUBSCHER, H. NÜESCH, A. PORTMANN, M. REICHEL, H. SCHAUB, R. SCHENKEL, R. A. STAMM, W. STINGELIN, CH. TAMM, L. VONDERSCHMITT, H. ZOLLER und gewann Einblicke in andere Fachgebiete durch Vorlesungen bei den Herren Professoren und Dozenten A. BÜHLER, G. BENEDETTI, A. ERNST, J. GANTNER, C. HAFFTER, M. IMBODEN †, W. MUSCHG †, H. OTT, K. SCHEFOLD, E. SCHMID und G. ZAMBONI.

Nach Abschluss der Nebenfächer und Absolvierung der militärischen Schulen begann ich bei Herrn Prof. Dr. A. PORTMANN mit einer Dissertation über die «Ökologie der Makro-Bodenfauna des Rheins im Gebiet von Basel». Äussere Umstände erzwangen im Herbst 1966 den Abbruch dieser spannenden Untersuchungen. Die Publikation einer auf Feldbeobachtungen beruhenden Arbeitshypothese über die Witterungsabhängigkeit des Vogelzuges und ein spontanes Hilfsangebot von Herrn Dr. E. SUTTER gaben den Anstoss zur nun vorliegenden Arbeit, die ebenfalls unter der Leitung von Herrn Professor PORTMANN entstand.

Am 11. Mai 1968 verheiratete ich mich mit MYRTHA MARIA HERTER. Seit dem 24. August 1969 sind wir glückliche Eltern eines Sohnes. In den Jahren 1967 bis 1969 war ich neben meinen Studien Assistent an der Zoologischen Anstalt Basel. Seit Juli 1970 bin ich wissenschaftlicher Mitarbeiter der Vogelwarte Sempach.

Die vorliegende Arbeit sei in Dankbarkeit meinen Eltern gewidmet.